TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 199-Fevereiro-1950

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 — 2829 — 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
199
Fevereiro — 1950

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N./ TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ
ADMINISTRADOR
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ
SECRETÁRIO
MANUEL MARQUES MAIA
BIBLIOTECÁRIA
MARIA HELENA PORTUGAL DA SILVEIRA
CORPO REDACTORIAL
ARMANDO COUTINHO DE LENCASTRE
JÚLIO FERREIRA LOPES
MARGELINO ABREU COSTA
HENRIQUE CANALES PEREIRA

NÚMERO ÁVULSO 9$00
ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

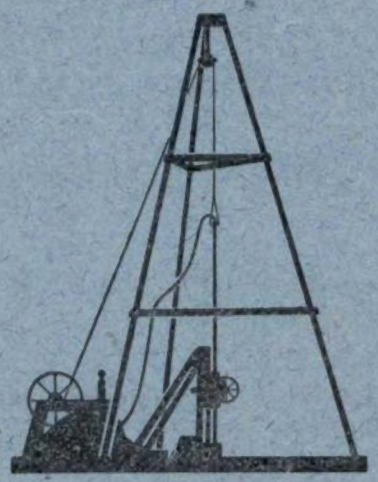
COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — PONTE SOBRE O TEJO — Lançamento dum caixão para o 1.º pilar no rio, em Vila Franca

		Págs.
A Química Orgânica no curso de Engenharia Químico-Industrial	Eng.º Manuel Chagas Roquette	875
Possibilidade termoquímica da existência da reacção: $Si + 2\,CO \rightleftarrows SiO_2 + 2\,C$ no processo de desoxidação do aço líquido	Prof. Agostino Bargone	881
Transportes finitos	Doutor Mira Fernandes	895
A Mecânica do Solo e as suas aplicações	Eng.º Manuel Pimentel Pereira dos Santos	903
Processos unitários da química orgânica — Polimerização	Eng.º Manuel Chagas Roquette	919
Do Engenheiro e sua definição		926
Vida Escolar e Associativa		927
Biblioteca		930

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES



RODIO

As melhores referências no país e no estrangeiro

SONDAGENS RODIO, Limitada

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «cement gun»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

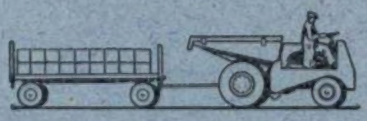
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

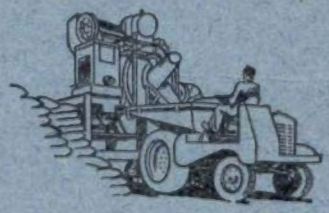
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

TÉCNICA

JOSÉ MARIA AVILLEZ
DIRECTOR

ANO XXVI - N.º 199 FEVEREIRO 1950

A QUÍMICA ORGÂNICA

no curso de Engenharia Químico-Industrial

C. D. 378.66

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL MANUEL CHAGAS ROQUETTE
(Assistente do I. S. T)

I — O Campo de acção da Química Orgânica

Será difícil imaginar, no mundo civilizado, um indivíduo que não tenha recorrido a algumas das centenas de produtos que a Química Orgânica põe ao dispor da Humanidade.

O homem civilizado utiliza transportes movidos a gasolina ou a gás-oil, com lubrificação por óleos e deslocando-se sobre pneus de borracha natural ou sintética. O seu vestuário e os objectos de uso corrente, encerram algumas dezenas de substâncias corantes, para a manufactura das quais foram precisos inúmeros produtos intermédios. Recorre a medicamentos desde a banal aspirina até às mais recentes penicilina e streptomicina. Precisa ainda o homem civilizado para o seu sustento dos produtos naturais e modificados (óleos, margarina...) que a grande indústria alimentar lhe fornece. Necessita de se defender dos insectos e parasitas que lhe ameaçam as colheitas, as construções de madeira, e recorre ao D. D. T., aos fungicidas... Exige a civilização estradas, túneis, portos, canais, que permitam a fácil deslocação de pessoas e mercadorias, e a construção de grande parte dessas vias de acesso só foi possível com o recurso aos explosivos.

Gasolina, gás-oil, óleos lubrificantes, borracha, corantes, aspirina, streptomicina, óleos alimentares, margarina, D. D. T., fungicidas, explosivos, são alguns dos muitos milhares de produtos que a Química Orgânica põe ao dispor da civilização.

É ainda a Química Orgânica que estuda os processos e as técnicas de Engenharia Química empregados nas seguintes indústrias:

Indústria Têxtil
Indústria da Cortiça
Indústria dos Resinosos
Indústrias Alimentares
Indústrias de Óleos e Sabões
Indústria da Celulose e do Papel
Indústria dos Plásticos
Indústrias da Fermentação
Indústria da Curtimenta

Indústria Tartárica
Indústria dos Petróleos e Lubrificantes
Indústria da Borracha
Indústrias do Carboneto de Cálcio e do Acetileno
Indústrias da Destilação da Hulha e do Gás de Iluminação
Indústria da Destilação da Madeira
Indústria das Tintas e Vernizes
Indústria dos Explosivos
Indústria da Perfumaria
Indústrias Farmacêuticas e de Pequena Síntese Orgânica
Indústrias de Pesticidas, Insecticidas, e Fungicidas.

Em Portugal já se encontram montadas estas indústrias, em maior ou menor grau de desenvolvimento. Só cada uma das que vêm à frente da lista (a têxtil e a da cortiça) tem uma produção anual superior a 1 milhão de contos. Pode atribuir-se com segurança, ao conjunto de todas estas indústrias nacionais, uma produção superior a 4 milhões de contos por ano.

Parece ficar, assim, demonstrado o interesse que a Química Orgânica tem, não só como elemento necessário ao progresso da civilização, mas também como factor decisivo no nosso desenvolvimento industrial.

II — O ensino da Química Orgânica na Engenharia Químico-Industrial

O oficial do exército, especializado em pólvoras e explosivos, o licenciado em físico-químicas, que se dedica à investigação da Química Orgânica, o médico, por intermédio da Química Fisiológica, o engenheiro agrónomo, no estudo dos adubos, das indústrias agrícolas, o licenciado em farmácia, em quase todas as actividades do seu mister, e, finalmente, o engenheiro químico-industrial lidam com assuntos de Química Orgânica. Mas é precisamente ao engenheiro químico-industrial que cabe a resolução dos problemas de Engenharia Química ligados à Química Orgânica, além de lhe competir ainda um papel bem vasto na Investigação, orientada em relação à Indústria. É ele ainda o colaborador indispensável de todos os outros especialistas, que se dedicam a trabalhos deste ramo da Química, quando se atinge a fase da industrialização.

Ficou atrás demonstrado por números e factos, verificáveis em qualquer estatística, a importância no nosso País das Indústrias que lidam, essencialmente, com problemas de Química Orgânica. E assim se justifica a importância que este ramo de engenharia deverá necessàriamente ter, dentro dum curso, que se destina a formar engenheiros químico-industriais [1].

Antes de passar ràpidamente em revista os meios de que deverá dispor um ensino eficiente, integrado num Curso de Engenharia Química, é ocasião de fazer a defesa duma atitude, que não se pode acusar de desejo, de, a todo o custo, enaltecer a importância duma determinada especialidade. Os números e factos atrás apontados são difíceis, senão impossíveis de negar. Perante eles a única atitude a tomar é uma atitude realista. Pode a organização do ensino permanecer imutável, «fossilizada», quando o desenvolvimento da Técnica e da Indústria, e um Ressurgimento Industrial, em plena marcha, impõem novos

---

[1] Um curso de Engenharia Química, de nomeada (Lausana) tem nos seus horários escolares, 24 horas de prática semanal de Química Orgânica, durante 2 anos.

caminhos a seguir? Vejamos um exemplo e vamos escolhê-lo fora do âmbito da Química Orgânica, para não podermos ser acusados de parcialidade ([1]).

Há cerca de 40 anos a Electroquímica desabrochava, e o seu ensino era ministrado, sob a forma de breves noções, provàvelmente num pequeno número dígito de aulas de Química Industrial ou de Metalurgia. Mas a Electroquímica cresceu com o século, desenvolveu-se no que diz respeito aos seus fundamentos teóricos, às aplicações cada vez maiores na análise, e à sua vasta projecção na indústria. Hoje, em Portugal, a indústria electroquímica é uma realidade. E actualmente dispõe já o curso de Engenharia Químico Industrial do I. S. T. duma cadeira semestral de Electroquímica. A Técnica e a Indústria evoluiram; a organização do ensino tinha de acompanhar, lògicamente, esse progresso.

Para se atingir o objectivo dum ensino eficaz, no curso de Engenharia Químico Industrial, dentro deste domínio tão vasto das Químicas Orgânicas, são necessários determinados meios, enquadrados e ìntimamente relacionados, e que constituirão uma formação teórica, base da indispensável formação prática. É a esses meios de acção que passaremos a referir-nos ([2]).

A — *Formação Teórica*

Esta formação pode apresentar-se sob 4 aspectos fundamentais:

a) Tecnologia Químico Orgânica
b) Processos Unitários da Química Orgânica
c) Indústrias Químico Orgânicas
d) Análise Químico Orgânica

a) *Tecnologia Químico Orgânica*

O curso devera ser orientado dentro da ordenação clássica da Química Orgânica: sistematização por séries e funções com as noções teóricas indispensáveis.

Porque se trata de matéria, essencialmente, de aplicação prática, destinada a engenheiros, serão focados as sínteses e processos extractivos de interesse industrial (aparelhagem e técnica) e as aplicações dos principais produtos orgânicos.

Será ainda feita uma primeira introdução às diferentes indústrias da Química Orgânica, a propósito do estudo de substâncias, relacionadas com aquelas ([3]).

b) *Processos Unitários da Química Orgânica*

O estudo dos Processos Unitários da Química Orgânica (Esterificação, Nitração, Polimerização, Fermentação, Hidrogenação, Halogenação, Amonólise. . .) deverá constituir, lògicamente, a parte fundamental dum Curso de Química Orgânica aplicado à Engenharia Química. Em relação aos Processos Unitários, a parte geral do curso (Tecnologia Químico Orgânica) fornece uma base indispensável de conhecimentos.

Os Processos Unitários representam pelo estudo do mecanismo de reacção, de matérias primas, técnica e aparelhagem de fabrico, montagem e funcionamento de instalações, o que existe de primordial na Engenharia Química Industrial aplicada à Química Orgânica ([4]).

([1]) Escolhemos o exemplo da Electroquímica, por na nossa vida profissional, termos já lidado com alguns problemas práticos desta especialidade, a par dos de Química Orgânica.

([2]) É fácil de enquadrar esses meios de acção no esquema geral para organização do Curso de Química proposto pelo Eng.º Luís de Almeida Alves (Técnica — Abril 1949).

([3]) Esta matéria é actualmente dada na Química Orgânica I (4.º ano).

([4]) Os Processos Unitários e as Indústrias são tratados, com manifesta falta de tempo, num único ano (Química Orgânica II — 5.º ano.

c) *Indústrias Químico Orgânicas*

O estudo das indústrias orgânicas de maior interesse nacional (têxtil, celulose e derivados, resinosos, cortiça, curtimenta, óleos e sabões, indústrias alimentares...) é, em súmula, uma aplicação dos Processos Unitários da Química Orgânica, das Operações Unitárias, que permitem a efectivação desses Processos e ainda dos conhecimentos adquiridos no curso de Tecnologia Químico-Orgânica.

Este estudo será objectivado, entrando em conta com aqueles factores económicos, que condicionam as indústrias estudadas, e a aparelhagem e técnica específicas ([1]).

d) *Análise Químico Orgânica*

A análise Químico Orgânica é indispensável num contrôle industrial moderno, e é a condição de possibilidade de qualquer trabalho de investigação, neste ramo de Engenharia Química. No entanto, devido à sua natureza, essencialmente, de prática laboratorial, assente em conhecimentos adquiridos pelo estudo da Tecnologia Químico Orgânica e dos Processos Unitários, não parece desaconselhável, que o seu ensino, numa primeira fase de adaptação, seja restringido às aulas práticas. É preciso, no entanto, salientar que, para se atingir este fim, se impõe por um lado a existência de recursos materiais em aparelhagem e elementos de estudo (livros), de que os laboratórios de Química Orgânica actualmente não dispõem, e que por outro lado se necessita de tempo escolar suficiente ([2]).

Deverão as aulas teóricas ter um aspecto de aplicação prática da matéria, que será tratada com maior desenvolvimento nas folhas do curso. Estas últimas serão ao mesmo tempo elementos de estudo e de consulta ([3]).

B — *Formação Prática*

Esta formação, ìntimamente relacionada com a actuação das aulas teóricas, deverá assentar em:

a) Laboratórios
b) Projectos de instalações industriais
c) Visitas de Estudo

a) *Laboratórios*

São os laboratórios de ensino e investigação química, e os laboratórios semi-industriais e de instalações piloto, a base onde se deve alicerçar todo o ensino e aperfeiçoamento neste ramo de Engenharia. A esses laboratórios compete desempenhar as seguintes missões:

1 — *Objectivação e prática das matérias dadas na teoria* — a coordenação entre a aula prática e a teórica, deverá ser tanto quanto possível perfeita e simultânea.
2 — *Estudo de problemas industriais e semi-industriais* — que ponham o aluno em contacto com as realidades da Indústria Nacional e o orientem no sentido da resolução e aperfeiçoamento de processos industriais orgânicos.
3 — *Investigação científica orientada* — no estudo de problemas puramente de laboratório, mas ainda relacionados com processos industriais.
4 — *Colaboração e troca de informações com as entidades industriais particulares e com laboratórios, serviços e escolas do Estado,* sob a forma de estudos, análises e consultas.

([1]) Os Processos Unitários e as Indústrias são tratadas, com manifesta falta de tempo, num único ano (Química Orgânica II — 5.º ano).

([2]) A Engenharia Química do I. S. T. é dos poucos cursos, da sua especialidade, senão o único (quer no País, quer no Estrangeiro) que não tem no horário escolar, tempo destinado ao ensino de Análise Químico Orgânica.

([3]) As actuais folhas de Química Orgânica (I e II) estão a ser elaboradas dentro desse espírito.

Não possuem, infelizmente, os laboratórios de Química Orgânica do I. S. T. a aparelhagem semi-industrial e de contrôle, que representa o indispensável para um mínimo de possibilidades de trabalho. Muitos estudos de interesse prático e económico ficam frequentemente condenados ou a grandes demoras ou a nem sequer poderem realizar-se.

O desenvolvimento nos últimos anos da Técnica e da Indústria e o facto de estarmos em plena fase de Ressurgimento Industrial parece impor à Escola o dever de formar engenheiros-químico-industriais, com um mínimo de aptidões e conhecimentos. Este objectivo só poderá atingir-se com laboratórios de carácter semi-industrial, munidos da necessária aparelhagem de contrôle, e capazes de, além de desempenharem a sua missão formativa, de prestarem uma útil colaboração à indústria. O interesse destes laboratórios onde se trabalha numa escala muito maior do que a do tubo de ensaio ou a do balão de vidro seria manifesto, pois deles já se poderiam tirar ensinamentos e conclusões, em grande número de casos, aplicáveis directamente a instalações de capacidade industrial ([1]).

Parte deste apetrechamento (principalmente, o relativo às instalações piloto) poderia ser feito sob projecto do próprio laboratório de Química Orgânica, com a colaboração das oficinas do I. S. T. ([2]). Mas não bastará que os alunos sob a orientação dos assistentes de Química Orgânica, projectem e as oficinas construam a aparelhagem dessas instalações piloto. Tornam-se indispensáveis, além de certo equipamento impossível de construir nas oficinas da Escola, aqueles meios de contrôle e de análise, adequados ao funcionamento das instalações semi-industriais e piloto, e que permitem interpretar convenientemente os resultados obtidos. Para uma primeira fase de apetrechamento, torna-se necessária a aquisição de:

equipamento para laboratório de altas pressões
prensa hidráulica para extracção de óleos
filtros prensa
instalação de fabricação de plásticos por injecção
aparelhos de agitação industrial
moinhos
instalação piloto de destilação
instalação piloto de nitração
instalação piloto de polimerização
aparelhos de medida e contrôle (refractómetro, polarímetro, electrofotómetro de chama, espectrómetro, pirómetros, electro-titulador, viscosímetro dinâmico, instalação de infra-vermelhos) ([3]).

b) *Projectos de instalações industriais*

Os projectos de instalações da Química Orgânica, ensinarão o aluno a trabalhar com os mais variados elementos, quer empíritos, quer de cálculo. Serão um valioso ponto de contacto com os conhecimentos adquiridos noutras cadeiras do curso (Química Tecnológica, Máquinas, Resistência de Materiais...), e obrigarão ainda a recorrer, frequentemente, a dados que só o laboratório semi-industrial ou o laboratório de investigação podem fornecer.

Esses projectos serão elaborados não com o mero espírito de demonstração escolar, mas com o objectivo de poderem servir para execução.

([1]) Vidé a Investigação e o Ensino, no artigo «Perante alguns prováveis caminhos da nossa Industrialização» do Eng.º Virgílio Teixeira Lopo (Técnica de Dezembro de 1949).

([2]) Nas Universidades americanas e em muitas Universidades europeias encontram-se montados laboratórios semi-industriais e instalações piloto. A quantia dispendida foi em grande número de casos pequena. Vidé Técnica de Março de 1949 (O apetrechamento dos Laboratórios de Química do I. S. T.) e as revistas Chemical Education e Industrial and Engineering Chemistry.

([3]) Iniciou-se em 1948 um apetrechamento parcial dos laboratórios de Química Orgânica do I. S. T. (montagem das secções de fermentação e parte da de polimerização, e aquisição de material de uso geral).

c) *Visitas de Estudo*

As visitas de estudo objectivarão o ensino com o exemplo das unidades industriais da Química Orgânica. Elas serão integradas, por um lado, no desenvolvimento do curso teórico, e por outro lado, realizar-se-ão paralelamente aos trabalhos executados nas aulas práticas.

Efectuar-se-ão entre 10 a 15 visitas de estudo anuais, e assim cada aluno terá a oportunidade no fim do curso de 3 anos de Química Orgânica, de conhecer 30 a 40 instalações industriais deste ramo de Engenharia.

C — *Eficiência, cooperação e especialização*

Eficiência, cooperação e especialização são as noções que devem dominar toda a formação prática, durante o curso de Química Orgânica.

a) *Eficiência*

Um trabalho de Química Orgânica para ter algum valor útil, deve ser conduzido eficientemente e até ao fim, para o que se impõe além da possibilidade de utilizar suficiente mão de obra de investigação, a existência dos necessários meios materiais (aparelhagem). Esta noção de eficiência está intimamente relacionada com a cooperação entre alunos e entre diferentes serviços.

b) *Cooperação*

Neste ramo de Engenharia um indivíduo só e isolado pouco ou nada vale. Ele precisará de colaboradores e auxiliares se quiser dedicar-se a um problema e vê-lo completamente realizado. Duma maneira análoga, na Escola, o aluno dos primeiros anos deve habituar-se a colaborar com o aluno dos anos mais avançados auxiliando-o. Só assim se conseguirão bons rendimentos e trabalhos que não sejam mera repetição de receitas ou apenas fracassos. Pode ainda o Laboratório dedicar-se a uma investigação séria e ambicionar alcançar resultados práticos em prazos relativamente curtos, o que doutro modo seria completamente impossível.

É igualmente cooperação que tem de existir entre o Laboratório de Química Orgânica e outros laboratórios ou serviços, que lhe possam fornecer meios ou possibilidades novas [1].

c) *Especialização*

O aluno deve, desde que o seu adiantamento no curso, o permita, adquirir um princípio de especialização, que o torne um elemento valioso, dentro do programa de trabalhos a realizar. Assim, logo no 4.º ano (o primeiro de Química Orgânica) uns alunos dedicar-se-ão a ensaios de fermentação, outros ao estudo da hidrogenação de óleo, a ensaios de polimerização e fabrico de plásticos, extracção de óleos essenciais, tinturaria, estudo de pastas de papel, aproveitamentos da cortiça...

Estas especializações feitas sem prejuízo dos trabalhos de cooperação e de carácter formativo geral, prosseguirão até ao fim do curso. Terá assim o aluno, ao terminar o 6.º ano, a possibilidade de durante cerca de 2 anos e meio, se haver especializado num determinado assunto de Engenharia, com vantagem para o Laboratório e para a sua própria formação.

---

[1] Neste campo é-nos grato salientar o auxílio e boa vontade que sempre temos encontrado nos laboratórios da Comissão Reguladora dos Produtos Químicos e Farmacêuticos, dos Combustíveis, de Engenharia Civil, do Instituto Superior de Agronomia (Microbiologia Agrícola e Tecnologia Agrícola) e ainda nos laboratórios de Química do I. S. T.

Possibilidade termoquímica da existência da reacção: $Si + 2\,CO \rightleftarrows SiO_2 + 2\,C$ no processo de desoxidação do aço líquido

POR AGOSTINO BARGONE
Prof. do I. S. T.

C. D. 669.18

SUMÁRIO:

Partindo de considerações termoquímicas, discute-se a possibilidade de a reacção: $2\,CO + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2\,C$ intervir no processo de desoxidação do aço líquido. Por meio de um cálculo termoquímico, aplicado às reacções que participam no processo, deduz-se que, em presença de um sistema complexo formado por OFe, Fe, C, CO, Si, SiO_2 e para temperaturas correspondentes ou superiores às do início da solidificação do aço, não se verificam as condições necessárias para que a reacção em estudo se possa desenvolver de maneira apreciável. Deduz-se ainda que, embora tal reacção dificilmente se possa verificar no processo de desoxidação do aço, apresenta todavia possibilidade de se realizar durante o arrefecimento e sucessiva solidificação da gusa.

1) Existem diversas variantes do processo de fabricação do aço mas, no caso de se partir de carga sólida, o processo pode ser substancialmente esquematizado em três fases ou períodos principais:

A) — Fusão da carga e formação da escória primária;
B) — Oxidação e descarburação do banho;
C) — Desoxidação do banho e sangria.

Durante o primeiro período, por acção do oxigénio proveniente quer do execesso de ar utilizado na combustão dos gases (no caso de se tratar de fornos Martin-Siemens) quer dos elementos oxidados (como por exemplo minério de ferro) introduzidos na carga, parte do ferro oxida-se, de acordo com a lei das massas, segundo a equação:

$$Fe + {}^1/_2\,O_2 \rightleftarrows OFe \quad . \; . \; . \; . \quad (1)$$

depois do que o OFe obtido, juntamente com o proveniente da carga metálica, reage com o silício, o manganês, o fósforo e a sílica presentes, originando silicatos de ferro e manganês que, com a cal adicionada e o produto de oxidação do fósforo ($P_2\,O_5$) constituem a escória primária.

No segundo período, depois de formada uma nova escória, procede-se à oxidação do banho, introduzindo material oxidado com o fim de fornecer o óxido de ferro necessário para a eliminação do carbono, geralmente até à concentração imposta pelo tipo de aço que se deseja fabricar.

A reacção de descarburação que constitui o chamado «período de laboração do banho» porque este é contìnuamente agitado pelas bolhas de CO que se desprendem à superfície, realiza-se segundo:

$$OFe + C \rightleftarrows CO + Fe \quad . \; . \; . \quad (2)$$

cujas condições de equilíbrio são expressas pela relação:

$$K = \frac{[OFe]\,.\,[C]}{P_{CO}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

e cuja velocidade é dada por:

$$v = K_1\,[OFe]\,[C] - K_2\,P_{CO} \quad . \; . \; . \quad (4)$$

onde a concentração do CO foi substituída pela sua pressão parcial P_{CO}.

No terceiro período, atingida a concentração em carbono desejada, «pára-se» a reacção de descarburação, eliminando o excesso de OFe em relação ao do equilíbrio dado por (3) de maneira a anular o valor da expressão (4); no período seguinte, procede-se à eliminação da máxima quantidade possível do OFe presente, por meio da operação de «desoxidação do banho».

2) — O processo de desoxidação, normalmente realizado imediatamente antes da operação de sangria e algumas vezes, embora muito ràramente, durante a própria sangria e até na colhér, constitui, dentre as três, a fase mais importante e mais delicada de todo o processo. Com efeito, a qualidade do produto obtido depende estritamente do modo como for conduzida esta última operação.

Aliadas às características mecânicas deduzidas pela prova de tracção, um aço deve possuir numerosas outras propriedades como elevada resiliência, regularidade e grandeza do grão cristalino, penetração e capacidade de têmpera, resistência ao escorregamento às altas temperaturas, capacidade de o produto suportar um determinado limite de laboração a quente e a frio e muitas outras propriedades que não estão directamente ligadas com a simples análise química do material. Portanto, todas as propriedades acima indicadas, além de serem função da concentração dos elementos presentes na liga, estão estritamente ligadas com o grau de desoxidação do metal, isto é, com a concentração do OFe nele dissolvido e portanto, em última análise, com o método de desoxidação empregado e com a maneira como se conduziu tal operação.

Deve ainda atender-se a que os desoxidantes usados originam sempre, como produtos de desoxidação, as chamadas «escórias de reacção» ou «inclusões não metálicas» cujo número, senão também a qualidade, depende ùnicamente da maior ou menor concentração de OFe no metal, inclusões que muitas vezes, depois de efectuada a solidificação, ficam incorporadas no produto, diminuindo — por originarem condições favoráveis à rotura ou à corrosão — a sua duração em exercício.

3) — A operação de desoxidação é efectuada segundo dois sistemas: *a*) — por precipitação; *b*) — por difusão, omitindo naturalmente a operada pelo carbono durante o período de descarburação.

O primeiro método é directo e a operação efectua-se introduzindo directamente o desoxidante (manganês, silício e outros em liga com o ferro) no banho de aço.

Com o segundo método, indirecto, usado principalmente no forno eléctrico, reduz-se a escória por meio de substâncias redutoras pulverizadas (carbono, ferro-silício, siliciato de cálcio, alumínio) e, desta maneira, por difusão, o óxido de ferro do banho passa para a escória à medida que esta é reduzida, segundo a tendência para o equilíbrio banho-escória expressa pela relação:

$$L = \frac{\text{OFe banho}}{\text{OFe escória}} \quad . \; . \; . \qquad (5)$$

onde L é a «constante de repartição» ou «constante de Nernst».

O primeiro método é o mais geralmente usado porque é o mais rápido e mais simples, não exige uma habilidade especial por parte do técnico que conduz a operação e é aplicável a todos os tipos de fornos, mas apresenta o inconveniente de originar no aço, como já se disse, produtos de reacção insolúveis, nem sempre «coaguláveis» e portanto nem sempre elimináveis por diferença de densidade entre essas partículas e o líquido metálico. Deve, além disso, notar-se que também no caso de se proceder à operação de desoxidação pelo segundo método, terminada a redução da escória, isto é, poucos instantes antes de efectuar a sangria, se adicionam quase sempre pequenas quantidades de elementos desoxidantes (muitas vezes, só silício) com o fim de se ter a certeza de obter uma desoxidação profunda.

Os desoxidantes usados no processo «por precipitação» são constituídos por ferro-manganês, ferro-silício, ferro-sílico-manganês, sílico-manganês e alumínio [1], adicio-

[1] O alumínio, como norma, é empregado só em casos especiais e geralmente com precauções particulares. Com efeito, ele origina, como produto da reacção, inclusões

nados separadamente ou em conjunto e que reagem segundo as três reacções

$$2OFe + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2Fe \quad . . . (6)$$

$$OFe + Mn \rightleftarrows OMn + Fe \quad . . . (7)$$

$$3OFe + 2Al \rightleftarrows O_3Al_2 + 3Fe \quad . . . (8)$$

reacções cujo equilíbrio é dado pelas expressões:

$$K_{Si} = \frac{[Si] \cdot (OFe)^2}{(SiO_2)} \quad . . . . (9)$$

$$K_{Mn} = \frac{[Mn] \cdot (OFe)}{(OMn)} \quad . . . (10)$$

$$K_{Al} = \frac{[Al]^2 (OFe)^3}{(O_3Al_2)} \quad . . . (11)$$

onde os parêntesis rectos indicam as concentrações das diversas espécies no banho metálico e os parêntesis curvos as concentrações «activas» (livres) dos óxidos correspondentes na escória. Os valores de K às diversas temperaturas, para as reacções (6) e (7), são dados pelas 2 isócoras de reacção:

$$\log K_{Si} = -\frac{11.106}{T} + 4{,}50 \quad . . (12)$$

$$\log K_{Mn} = -\frac{6.234}{T} + 3{,}026 \quad . . (13)$$

4) — Dada a grande importância do processo, foram muitos os investigadores que se ocuparam do seu estudo. Assim, sobre o uso do manganês e do silício como desoxidantes, ocuparam-se C. G. Cristopher. H. Freemann [1], os quais, porém, em vez de examinarem o problema da desoxidação sob o ponto de vista da química física, realizaram muitas experiências, em que investigaram, além dos equilíbrios de desoxidação, os tipos de inclusões não metálicas originadas pelo desenvolvimento das reacções. Encontraram assim que a melhor desoxidação era a realizada com a liga sílico-manganês com uma proporção Mn/Si variável de quatro a sete mas nem sequer ligeiramente se referiram ao próprio desenvolvimento da reacção. Sobre este último assunto, foram feitos estudos interessantes e decisivos por Köerber e Oelsen [1], os quais tomaram em consideração as condições de equilíbrio entre escórias de silicatos de ferro e manganês e ferro líquido e os equilíbrios de desoxidação do ferro líquido com o manganês e o silício, quer separadamente quer em conjunto. Os resultados obtidos nesses estudos são expressos por meio de diagramas, alguns dos quais dizem respeito ao equilíbrio da desoxidação só com silício e relacionam a concentração do oxigénio presente no banho (o que é o mesmo que dizer a concentração do óxido de ferro porque, no banho de aço, o oxigénio se supõe encontrar-se na quase totalidade sob a forma de OFe) com a concentração de silício nele presente às várias temperaturas (Cfr. Fig. 1); outros ao equilíbrio entre o OFe, Si e Mn

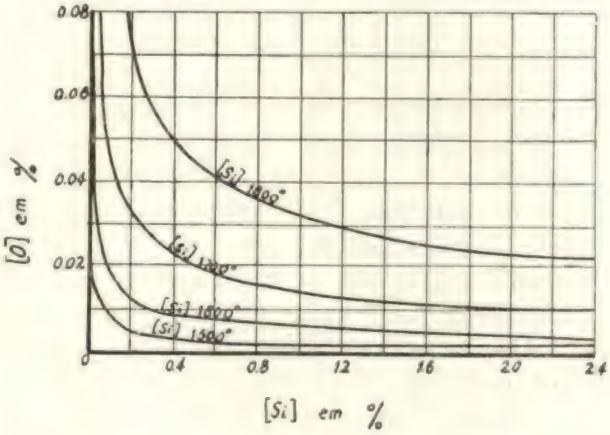


Fig. 1

Concentração de silício no aço em função da sua concentração em oxigénio (Köerber e Selsen)

no banho, à acção da adição de silício nos aços de manganês e finalmente, ao oxigénio presente no banho em função do silício adicionado e da concentração do manganês

---

sólidas de O_3AL_2 difícilmente elimináveis e perigosas para a laboração subsequente. Além disso, no caso de haver concentrações relativamente altas de enxôfre, influi sobre as características mecânicas pela sua acção na formação do grão cristalino.

(1) G. H. Herty e col. — Min. Met. Iuv. n.º 58 (1932).

(1) Köerber e Oelsen — Mitt. Kaiser Wilh. Inst. Eisenf. — 15 (1937) págs. 27 e segs.

presente no banho no momento da adição do silício.

5) — É um fenómeno que, se não frequente, pelo menos se apresenta algumas vezes na prática da aceraria, que, no caso do metal não ter sido suficientemente desoxidado no forno, depois da sangria e no momento da sua solidificação na lingoteira, ou forma, se formem no interior da massa líquida bolhas gasosas devidas à libertação do CO, que originam, muitas vezes, a projecção do líquido metálico para fora do recipiente que o contém. Nesse caso, o lingote fica cheio de cavidades internas que o tornam, portanto não utilizável para qualquer laboração ulterior ou para qualquer outra utilização.

Segundo diversos autores entre os quais Shenck [1], tal efeito é explicado como devido ao facto de que, embora se tenha atingido, por efeito da desoxidação, as condições de equilíbrio entre as concentrações do OFe e do C presente no banho metálico pelo que resulta nulo o valor da expressão (4), durante o intervalo de solidificação, pelo conhecido fenómeno de «liquação», a parte ainda não solidificada vai-se enriquecendo em OFe e C, originando-se a rotura do equilíbrio químico da reacção (3) e, consequentemente, a sua deslocação no sentido da formação de bolhas gasosas de CO.

É boa norma de aceraria prevenir tal efeito, juntando, depois da operação de desoxidação e até ao momento da sangria, pequenas quantidades de ferro-silício com o fim de reduzir ainda mais as concentrações do OFe no banho metálico e do que se vá eventualmente formando devido à acção oxidante da atmosfera do forno, de maneira que a sua concentração, mesmo depois da liquação, se mantenha inferior ou pelo menos igual à de equilíbrio com a nova concentração de carbono e não origine a reacção de descarburação (3). (Segundo A. H. Jay [2], para que a reacção possa desenvolver-se, é necessária uma concentração de OFe 0,04 por cento superior à de equilíbrio).

Segundo outros autores [1], no aço fabricado no forno eléctrico, esta não seria a única acção que teria o silício mas, pelo contrário, este tem um duplo efeito, de desoxidante segundo

$$2\,OFe + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2Fe \quad . . . \quad (14)$$

na operação de desoxidação pròpriamente dita

de desgasificante segundo

$$2\,CO + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2C \quad . . . \quad (15)$$

na desoxidação final, antes da sangria

Esta acção do silício sobre o óxido de carbono, especialmente porque não se baseia em dados experimentais (cuja obtenção, neste caso particular, aliás se apresenta de extrema dificuldade porquanto, embora indirectamente, a primeira reacção conduz ao mesmo resultado que a segunda: impedir ou contrariar a libertação do CO) ou em dados teóricos provocou algumas dúvidas.

Efectivamente não se podiam desprezar alguns elementos importantes:

a) — Que além do CO há outros gases, entre os quais especialmente o N_2 e o H_2, que estão presentes no metal líquido e que, ao contrário do CO que o é pouco ou absolutamente nada (a sua solubilidade no aço é duvidosa e geralmente não confirmada) são solúveis em quantidades apreciáveis na liga ferro-carbono, abaixando-se bruscamente a sua curva de solubilidade para temperaturas da ordem de grandeza das de solidificação do aço (*) (Cfr. Shenck, loc. cit.) e que, portanto, se poderia explicar a acção desgasificadora do silício pela sua

(1) H. Shenck — Physikalische Chemie der Eisenhuttenprozesse — Ed. Springer Berlin (1934).

(2) A. H. Jay — Journal of the Iron Steel Inst. Vol. 157 p. 2 Outubro (1947) págs. 162-167.

(1) F. T. Sisco — The Manufacture of Electric Steel — Mc Graw New York (1932) R. Zoja — La Metallurgia Italiana — Julho a Setembro (1945)

(*) É necessário ter presente que as temperaturas de início e fim da solidificação das ligas ferro-carbono, variam ao variar a concentração do carbono. Para a maior parte dos aços que se fabricam, este intervalo está compreendido entre 1490-1450° C.

acção sobre o N_2 do qual se conhece a combinação Si_3N_4 com o calor de formação igual a 17925 cal/mol.-g e de que se conhece também a constante de equilíbrio a 1600° C (K = 14), [1];

b) — Que, para temperaturas pouco superiores àquelas a que se devia verificar a reacção (15), se inicia no alto-forno a redução do SiO_2 por acção do carbono, reacção exactamente oposta à precedente.

c) — Que não só no alto-forno, com o qual o confronto poderia fazer nascer dúvidas, dado que as concentrações do SiO_2 e C em jogo em relação às que se tem no processo de fabricação do aço são muito diferentes, mas que também neste último processo se verifica idêntica redução da sílica por acção do carbono. Com efeito, se o processo é conduzido num forno de revestimento ácido, no final da operação, quando as concentrações do OFe se reduziram a um valor tal que permitem a coexistência de concentrações mais elevadas de silício, a sílica em suspensão no banho e proveniente das paredes do cadinho reduz-se espontâneamente, através do carbono do banho, a silício metálico que passa para o aço. O diagrama de marcha indicado na figura 2 e a tabela n.° 1 mostram o efeito descrito sobre a concentração do Si (troço ab). Esta reacção, conhecida exactamente sob o nome de «Tiegel Reaktion» (reacção do cadinho) foi estudada, no seu desenvolvimento, por diversos investigadores [1], entre os quais o próprio autor [2].

Tabela 1

Horas	Operações	C %	Si %	Mn %	OFe %	OMn %	SiO_2 %
12.25	minério	1.84	0.62	0.70	—	—	—
18.10	id.	1.70	0.44	0.50	—	—	—
18.30	id.	1.58	0.19	0.31	—	—	—
18.45	id.	1.48	0.10	0.24	—	—	—
19.08	id.	1.24	0.034	0.12	12.00	17.60	58.80
19.30	id.	1.11	—	—	11.40	17.00	59.40
19.52	id.	0.99	0.034	0.14	13.00	16.70	59.50
20.55	cal.	0.69	0.10	0.16	10.00	—	—
22.00	—	0.46	0,17	0.20	—	—	—
22.30	—	0.38	0.21	0.22	7.80	14.30	61.10
22.50	—	0.32	—	—	7.70	14.00	61.00
23.15	—	0.28	0,21	0.21	7.70	14.00	62.10

(Journ. Iron Steel Inst. Vol. 2.° Pág. 2. Ontubro 1947)

Portanto, com base nas premissas apresentadas, pareceu ser útil examinar a referida reacção e tentar a verificação da sua presença ou ausência durante o processo de desoxidação. Um estudo experimental ter-se-ia apresentado muito difícil porquanto necessitava de análises e aparelhagens especiais para a recolha de amostras de gás durante a solidificação do lingote; além disso, seriam necessárias microanálises para as inclusões formadas antes e depois da desgasificação. Deve acrescentar-se ainda que as variações de concentração obtidas

(1) Basic Openhearth Steelmakig (1944).

(1) G. L. Sakharoff e M. H. Stronsselba — Inf. Inst. des Métaux U. R. S. S. n.° 3-4-10-26- (1931).

P. Bardenhauer e Xerner Bottenberger — Arch. fur Eisenf. VII (1934) págs. 595-598).

W. Geller — Arch. fur Eisenf. 15 (1942) págs. 479-490.

(2) A. Bargone — La Metallurgia Italiana 10 — XX Outubro (1942)

para as espécies moleculares em jogo, antes e depois da reacção, são tão pequenas que nada poderiam dizer com segurança, tendo também em consideração a complexidade dos fenómenos que se apresentam, entre os quais, e não de maneira indiferente, o de «liquação».

Tentámos então fazer uma dedução teórica, baseando-nos no cálculo dos valores da afinidade para as reacções em jogo.

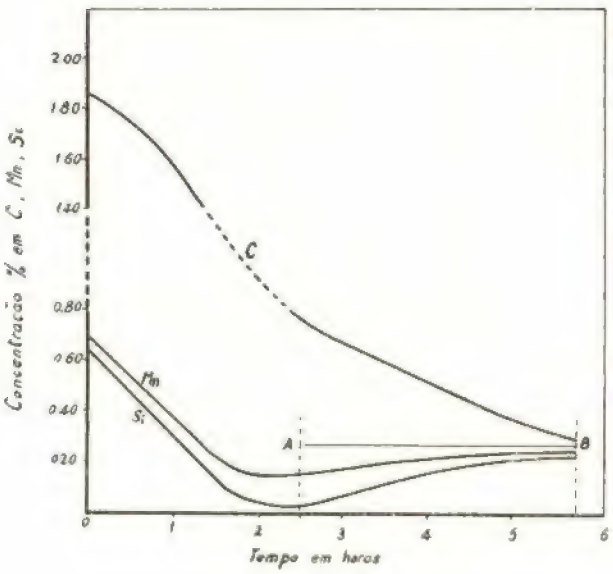


Fig. 2

Diagrama de marcha duma operação no forno Martin-Siemens de revestimento ácido

(do Journ. Iron Steel Inst. V 159 — P 2.ª Outubro 1947)

5) — Foi já feito por nós um cálculo do género ([1]), tendo-nos porém contentado só com valores de primeira aproximação, com o fim de poder interpretar, no processo do forno eléctrico de arco, a redução espontânea do óxido de crómio Cr_2O_3 da escória, com a consequente passagem do crómio metálico desta para o banho. Efectivamente, verifica-se, como mostra claramente o diagrama de marcha da Fig. 3, no caso em que a carga metálica contivesse uma alta concentração em crómio (Cr 1,5 %), durante o período inicial da oxidação, uma forte oxidação do crómio e a consequente migração do produto oxidado do banho metálico para a escória: num segundo período e precisamente durante parte do período de descarburação (troço ab do diagrama), portanto quando no banho ainda existiam altas concentrações do OFe, um regresso do crómio da escória para o banho, devido à redução do Cr_2O_3 da escória.

Este comportamento pareceu à primeira vista, anómalo e, portanto, a sua causa foi

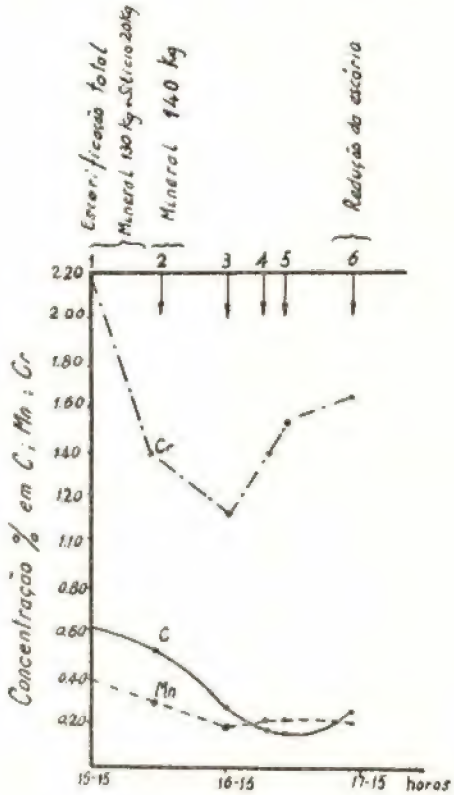


Fig. 3

Diagrama de marcha duma das 200 operações examinadas no forno eléctrico de arco de revestimento bárico

(Tecnica Italiana — N. 5 II. Trieste 1947)

imputada a variações do peso do banho por se entornar líquido durante as diferentes operações e de modo particular durante as escorificações totais. Mas a repetição do fenómeno, não obstante as precauções tomadas, para um grupo de duzentas operações examinadas durante a sua marcha de fabricação e as várias análises feitas propositadamente, indicaram ter ele uma origem diferente. Naquela ocasião, foi possível demonstrar, através dum cálculo termoquí-

([1]) A. Bargone—La Tecnica Italiana—Nuova Série II°, 1-Trieste (1947).

mico, que — para temperaturas como as que se verificam durante o processo de fabricação — o crómio é o elemento que tem para o óxido de ferro afinidade menor e que, portanto, pode coexistir em altas concentrações, mesmo em presença de concentrações relativamente elevadas de OFe sem se oxidar, enquanto que, dada a elevada afinidade do seu óxido para o carbono, o seu grau de redução através deste é maior que o do OFe através do mesmo elemento e que, portanto, nada impede que a redução do Cr_2O_3 da escória se faça durante o primeiro período da «descarburação».

7) — No nosso caso, o problema pode ser posto nos seguintes termos: deduzir para as três equações que tomam parte no processo:

$$OFe + C \rightleftarrows Fe + CO \quad \text{com } H_{T298} = -\ 37930 \text{ cal/mol} \ldots (16)$$

$$2OFe + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2Fe \quad \text{com } H_{T298} = +\ 79800 \text{ cal/mol} \ldots (17)$$

$$2CO + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2C \quad \text{com } H_{T298} = +\ 155200 \text{ cal/mol} \ldots (18)$$

através do cálculo da sua afinidade, para temperaturas compreendidas entre as de sangria e as de início de solidificação, qual ou quais das três apresentam a possibilidade de se desenvolverem em quantidade apreciável e darem «o tom» a todo o processo.

Fez-se portanto um cálculo completo da afinidade, não nos limitando só ao método de primeira aproximação de Ulich, mas seguindo as mudanças de estado dos componentes das três reacções às várias temperaturas, a partir da ambiente, à qual se conhecem bem os diversos valores dos calores de formação e das entropias.

Sabe-se efectivamente que quer a «tonalidade térmica» quer o «calor de reacção», quer «o termo entrópico» variam ao variar a temperatura, pelo que se torna necessário tomar em consideração não só a variação da capacidade calorífica das espécies moleculares em reacção, medida desde a temperatura ambiente até à temperatura a que se efectua a reacção, mas também todas as eventuais transformações de cada espécie química que se realizem com libertação ou absorção de calor ao sistema. Estas variações podem efectivamente ser de tal maneira apreciáveis que façam até inverter o sentido do próprio calor de reacção: assim, por exemplo, uma reacção exotérmica às temperaturas à volta da ambiente pode tornar-se endotérmica a temperaturas elevadas e vice-versa (1).

Por essa razão, a expressão da afinidade normal:

$$\Delta A_{T298} = \Delta H_{T298} - T \Delta S_{T298} \qquad (19)$$

para temperaturas superiores à normal, é substituída pela expressão geral:

$$\Delta A_T = \Delta H_{T298} + \int_{298}^{T} (C_{in} - C_{fin})\, dT + \Delta W_{transf.} - T \int_{298}^{T} \frac{\Delta C_p\, dT}{T} + \frac{\Delta W_{transf.}}{T} \qquad (20)$$

em que C indica a capacidade calorífica, C_p a variação do calor específico e $W_{transf.}$ o calor libertado ou absorvido pelas transformações genéricas que possam ter havido no sistema quando este se leva da temperatura T_{298} a uma temperatura genérica T.

No presente cálculo, o cômputo das capacidades caloríficas para o OFe, Fe, CO e C baseiam-se nos valores reais dos calores específicos (Cfr. Fig. 4) segundo os dados experimentais mais recentes (2), enquanto para o Si e SiO_2, faltando-nos uma fonte onde os pudéssemos ir buscar, os calores específicos foram calculados pela conhecida fórmula de Kelley (3):

$$C_T = a - bT - dT^{-2}$$

---

(1) — A reacção $OFe + C \rightleftarrows Fe + CO$, acentuadamente endotérmica à temperatura ambiente (— 37.000 cal/mol) foi indicada por Geller (loc. cit.) como sendo exotérmica à temperatura de 1600° C. Embora isto não tenha sido confirmado, o próprio andamento desta reacção àquela temperatura deixa supor que, se não é exotérmica, é só fracamente endotérmica.

(2) Landoldt e Bornstein — Phy. Chem. Tabellen III Ergangung (1936).

(3) Contribuition to the data on the Theoretical Metallurgy — Bull. 371 (1934) — High Temperature specific Heat Equations for Inorganic Substances.

usando, como valores dos coeficientes a, b, d, os indicados nas tabelas do mesmo autor.

Tabela 2

Calores de dissolução dos componetes no ferro a 1600° C		
Espécies	Kcal/mol	
Si	— 28,5	Determinações calorimétricas de Köerber e Oelsen.
OFe	+ 29	Dos dados de Köerber e Oelsen para a solubilidade do oxigénio no ferro sob uma escória de óxido a 1500 ÷ 1700°.
C	+ 4,3	Calor de formação do C Fe_3 a temperatura ambiente segundo H. Hulich — Aqui há incerteza. Para o cálculo do calor de solução a 1600° C faltam alguns dados térmicos.

Para os calores de solução, tomámos, por sua vez, os mesmos valores indicados por Geller (1) numa sua nota (Cfr. Tab. 2). O cálculo poderia, portanto, sofrer qualquer retoque se se efectuassem as necessárias verificações sobre os calores libertados no acto da dissolução no ferro das diversas espécies químicas interessadas.

Para os valores das entropias à temperatura normal, servimo-nos das tabelas do «Bureau des Mines U. S. A.» (2).

Como intervalo de temperatura, tomámos o que vai desde uma temperatura superior à de sangria até à temperatura compreendida entre 1700° C e 1480° C. Assim foram tomadas para base dos nossos cálculos as seguintes temperaturas: 1480°; 1500°; 1547°; 1600°; 1647°; 1700° C.

Para evitar incorrer em erros preconcebidos, realizou-se o cálculo separadamente às várias temperaturas e as integrações efectuaram-se gràficamente.

Nas tabelas 3 a 9 indicam-se sumàriamente os processos de cálculo e nas tabelas 9 e 10 e nos diagramas das Figs. 5 e 6, os resultados finais:

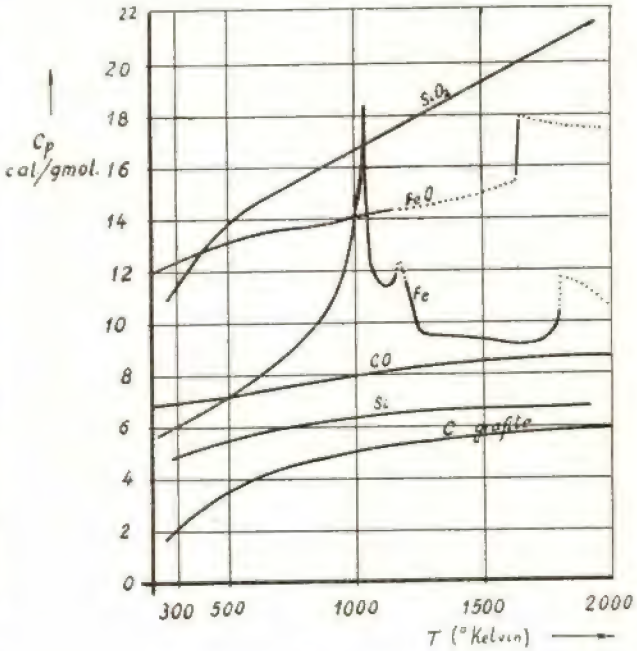


Fig. 4

Calores molares a pressão constante

Do seu exame deduz-se que, contràriamente ao que deixavam supor os valores obtidos por um cálculo de primeira aproximação utilizando, para as diversas temperaturas, a relação (19) (linha tracejada do diagrama da Fig. 5), os valores da afinidade relativos à reacção (18) se mantêm ainda positivos no campo de temperaturas por nós considerado, se bem que a inclinação da curva indique uma inversão no seu sinal para temperaturas um pouco superiores.

Sem portanto excluir de forma absoluta a possibilidade de que as três reacções possam ser concomitantes, os valores da afinidade calculados para as reacções (16) e (17) são tão nìtidamente superiores aos da reacção (18) que permitem concluir que, se esta última também toma parte no processo, deve desenvolver-se de forma tão limitada que pode considerar-se pràticamente desprezível e certamente de modo nenhum pode «dar o tom» a todo o processo de desoxidação, papel que deve ser reservado para a reacção (18).

(1) Loc. cit.

(2) Contribuition to the data on Theoretical Metallurgy — Bull. 394 (1936) — A Revision of the Entropies of Inorganic Substances.

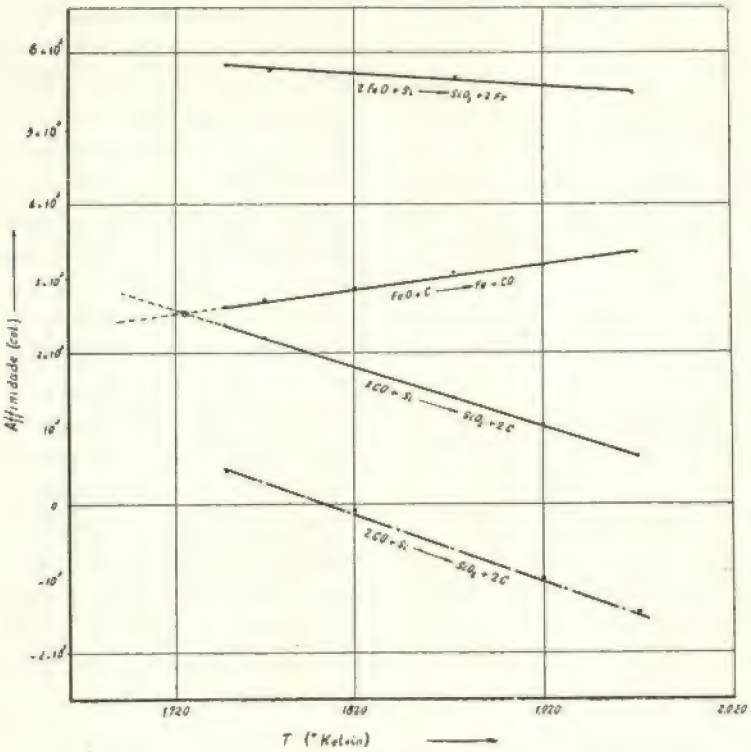


Fig. 5

Valores da Afinidade Normal das três reacções

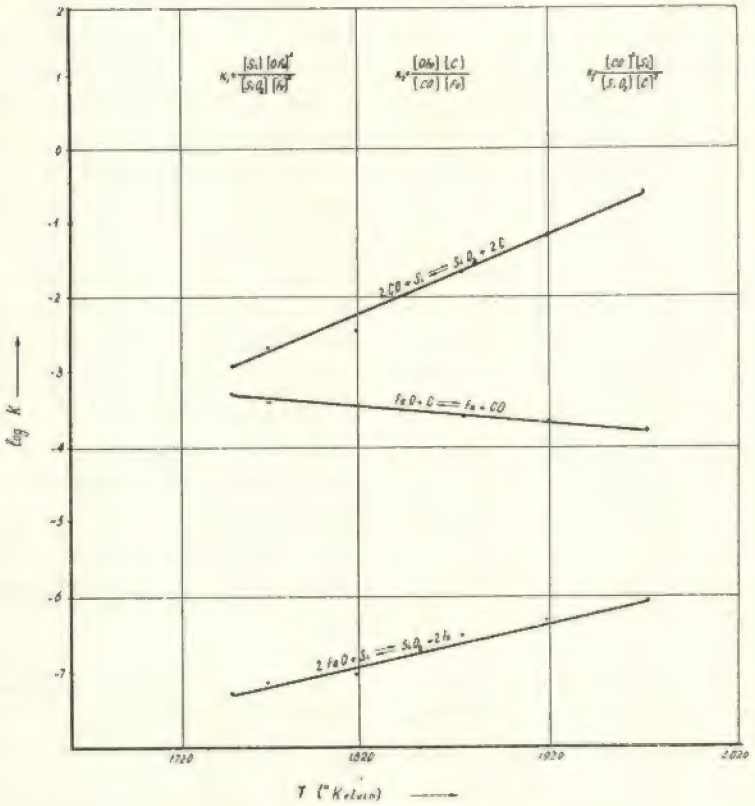


Fig. 6

Valores da log K das três reacções

Além disso, deve observar-se que presentemente nada se conhece sobre as variações e as transformações da espécie química SiO_2 às altas temperaturas e em presença de ferro líquido e que a relação (20) por nós tomada como base dos cálculos se refere à «afinidade normal», isto é, quando o decurso da reacção se faz ùnicamente depender das condições termodinâmicas do sistema; é necessário também considerar, por outro lado, o efeito não indiferente que pode ter sobre o decurso da reacção as massas iniciais em jogo, efeito que seria capaz de reduzir e, em alguns casos, até inverter a ordem dos resultados.

Verifica-se claramente um caso idêntico, examinando o troço ao do diagrama representado na Fig. 2. Efectivamente, sabe-se que, dos dois óxidos SiO_2 e OMn, é o último o mais fàcilmente reduzido pelo carbono. Ora o diagrama indica uma acção contrária. Com efeito, enquanto se tem uma nítida redução do SiO_2 com o consequente aumento da concentração de silício no banho metálico (ela passa — cfr. também tab. 1 — neste período, de 0,034 %, para 0,26 %), a redução do OMn faz-se duma maneira muito mais limitada ($\sim 1/5$ da do silício), o que leva a considerar a concentração do manganês como concentração de equilíbrio. Este efeito é justamente devido à presença de altas concentrações de SiO_2 na escória em confronto com as de OMn.

No nosso caso específico, se por um lado é verdade que, no processo básico as concentrações em SiO_2 da escória são nìtidamente inferiores às de uma escória ácida, é também, por outro, verdade que as condições termodinâmicas da reacção (18) e as da reacção (17) com ela coexistente — são tais que também a presença de concentrações em SiO_2 desfavoráveis poderiam só suspender ou, pelo menos, fazer desenrolar a reacção (18) para a direita em proporções pràticamente desprezíveis, como já se disse acima. Com efeito basta pensar que, para ambas as reacções, os valores das concentrações de Si e SiO_2 que nelam tomam parte são iguais e que para a (18) a concentração em CO expressa em pressão parcial é constante e igual a 1,1 atm.

Por sua vez apresentam-se totalmente diferentes as condições da reacção (18), no caso da gusa. Com efeito, especialmente se esta contém altas concentrações em carbono, tem uma temperatura de início de solidificação de cerca de 1200° C. A esta temperatura, o valor da afinidade da reacção (18) passa a ~33500 cal, enquanto a diferença entre os valores das afinidades das reacções (17) e (18) se reduz a ~25.000 cal. Por outro lado, as concentrações em CO e em em Si presentes na gusa são, em muito superiores às que usualmente se encontram no aço, factores todos estes que levam a reacção (18) a desenvolver-se no sentido da direita e, portanto, a não excluir — coisa por outro lado já prevista [1] — que ambas as reacções (17) e (18) possam tomar parte no processo.

Deve, por último, precisar-se que os resultados encontrados com este cálculo não devem ser tomados em sentido absoluto mas simplesmente têm valor orientador (de facto, tanto a equação de estado como a de energia livre desempenham papel semelhante ao do modelo na estrutura cristalina) e deve ter-se presente que os sistemas foram considerados em fase homogénea.

Seria portanto, bastante interessante relacionar os resultados obtidos neste cálculo com o que se poderia achar fazendo uso da termodinâmica dos sistemas reais, isto é, introduzindo nas leis físico-químicas elementares as «actividades molares» tendo em conta as inter-acções, material e energética, das massas. Um cálculo de género do realizado por Fast [2] para a reacção (2) foi conduzido pelo autor e um seu colaborador [3], elaborando os dados apresentados por Fast e calculando além disso as influências mútuas entre o óxido de ferro e o carbono simultâneamente dissolvido no banho metálico para a interpretação de algumas

(1) G. Guzzoni — Ghise comuni e di qualitá — Ed. Hoepli Milano (1942) pág. 88.

(2) J. B. Fast — Philips Res. Rep. 2 (1942) págs. 205-227.

(3) A. Bargone e F. Rinaldi — Annali Universitá di Trieste — Ser. 2.ª Scienze ed Ingegneria, Vol. XVIII (1947-1948).

anomalias ([3]), que em relação às leis químico-físicas dos sistemas reais apresentava a reacção de descarburação durante o processo de solidificação de aço. Apresentaremos um cálculo deste género para as reacções (17) e 18) num nosso próximo trabalho.

Desejo exprimir os meus agradecimentos ao meu assistente A. J. Ferro pela sua valiosa e gentil colaboração prestada na elaboração dos cálculos numéricos e pela versão do texto da língua portuguesa.

Lisboa, I. S. T. — Novembro de 1949.

([3]) J. S. Marsh. — Proc. El. Furnace Steel Corp. 2 (1944), págs. 126-136 (1945).

S. Marshall e J. Chipman — Trans. Am. Soc. Metals. 30 (1942), págs. 695-746.

Tabela 3 — ΔH_T para a reacção $O\,Fe + C \rightleftarrows Fe + CO$ cal / mol

T °K	298°	1753°	1773°	1820°	1873°	1920°	1973°
$\int_{298}^{T} (C\ in - C\ fin)\, d\,T$		+ 2576	+ 2676	+ 2889	+ 3079	+ 3259	+ 3457
Δ W sol.		+ 33300	+ 33300	+ 33300	+ 33300	+ 33300	+ 33300
ΔH_T	— 37930	— 2063	— 1954	— 1741	— 1551	— 1371	— 1173

Tabela 4 — ΔH_T para a reacção $2\,O\,Fe + Si \rightleftarrows Si\,O_2 + 2\,Fe$ cal / mol

T °K	298°	1753°	1773°	1820°	1873°	1920°	1973°
$\int_{298}^{T} (C\ in - C\ fin)\, d\,T$		— 1675	— 1898	— 1988	— 2177	— 2470	— 2599
Δ W sol.		+ 29500	+ 29500	+ 29500	+ 29500	+ 29500	+ 29500
ΔH_T	+ 79800	+ 107625	+ 107402	+ 107312	+ 107123	+ 106880	+ 106701

Tabela 5 — ΔH_T para a reacção $2\,CO + Si \rightleftarrows Si\,O_2 + 2\,C$ cal / mol

T °K	298°	1753°	1773°	1820°	1873°	1920°	1973°
$\int_{298}^{T} (C\ in - C\ fin)\, d\,T$		— 5971	— 6144	— 6552	— 6995	— 7522	— 7943
Δ W sol.		— 19900	— 19900	— 19900	— 19900	— 19900	— 19900
ΔH_T	+ 155200	+ 129329	+ 129156	+ 128748	+ 128405	+ 127778	+ 127357

Tabela 6 — (Δ S in — Δ S fin) para a reacção O Fe + C $\rightleftarrows$ CO + Fe — cal/°/mol

T °K	298°	1753°			1773°			1820°		
Espécies	S — So	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$W \frac{sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$W \frac{sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$W \frac{sol}{T}$	ΔS_T
O Fe	14,2	24,38	16,54	55,12	24,58	16,35	55,13	25,04	15,93	55,17
C	1,36	7,56	2,45	11,37	7,62	2,42	11,40	7,78	2,36	11,50
Fe	6,5	15,33	—	21,83	15,44	—	21,94	15,71	—	22,21
CO	47,32	13,48	?	60,80	13,58	?	60,90	13,80	?	61,12
(Δ S in — Δ S fin)				— 16,14			— 16,31			— 16,66
	298°	1873°			1920°			1973°		
Espécies	S — So	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$W \frac{sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$W \frac{sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$W \frac{sol}{T}$	ΔS_T
O Fe	14,2	25,55	15,42	55,17	26,09	15,10	55,39	26,57	14,70	55,47
C	1,36	7,95	2,29	11,60	8,10	2,24	11,70	8,26	2,18	11,80
Fe	6,5	16,04	—	22,54	16,31	—	22,81	16,60	—	23,10
CO	47,32	14,05	?	61,37	14,26	?	61,58	14,50	?	61,82
(Δ S in — Δ S fin)				— 17,14			— 17,30			— 17,65

Tabela 7 — (Δ Sin — Δ S fin) para a reacção $2\,O\,Fe + Si \rightleftarrows Si\,O_2 + 2\,Fe$ — cal / ° / mol

T °K	298°	1753°			1773°			1820°		
Espécies	S — So	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T
2 Fe O	28,40	48,76	33,08	110,24	49,16	32,70	110,26	50,80	31,86	110,34
Si	4,50	10,59	−16,25	— 1,16	10,67	−16,08	— 0,91	10,85	−15,65	—0,30
Si O_2	10,10	27,28	—	37,38	27,50	—	37,60	28,03	—	38,13
2 Fe	13,00	30,66	—	43,66	30,88	—	43,88	31,42	—	44,42
Δ (S in — Δ S fin)				+ 28,04			+ 27,87			+ 27,49

	298°	1873°			1920°			1973°		
Espécies	S — So	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T
2 Fe O	28,40	51,10	30,84	110,34	52,18	30,20	110,78	53,14	29,40	110,94
Si	4,50	11,05	−15,22	+ 0,33	11,22	−14,84	+ 0,88	11,41	−14,44	+1,47
Si O_2	10,10	28,63	—	38,73	29,15	—	39,25	29,74	—	39,84
2 Fe	13,00	32,08	—	45,08	32,62	—	45,62	33,20	—	46,20
Δ (S in — Δ S fin)				+ 26,86			+ 26,78			+ 26,37

Tabela 8 — (Δ S in — Δ S fin) para a reacção $2\,CO + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2\,C$ — cal / ° / mol

T °K	298°	1753°			1773°			1820°		
Espécies	S — So	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T
2 CO	94,64	26,96	?	121,60	27,16	?	121,80	27,60	?	122,24
Si	4,50	10,59	−16,25	— 1,16	10,67	−16,08	— 0,91	10,85	−15,65	—0,30
SiO_2	10,10	27,28	—	37,38	27,50	—	37,60	28,03	—	38,13
2 C	2,72	15,12	4,90	22,74	15,24	4,84	22,80	15,56	4,72	23,00
(Δ S in — Δ S fin)				+ 60,32			+ 60,49			+ 60,81

	298°	1873°			1920°			1973°		
Espécies	S — So	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T	$\int_0^T \frac{Cp}{T} dT$	$\frac{W\ sol}{T}$	ΔS_T
2 CO	94,64	28,10	?	122,74	28,52	?	123,16	29,00	?	123,64
Si	4,50	11,05	−15,23	0,33	11,22	−14,84	+ 0,88	11,41	−14,44	+1,47
SiO_2	10,10	28,63	—	38,73	29,15	—	39,25	29,74	—	39,84
2 C	2,72	15,90	4,58	23,20	16,20	4,48	23,40	16,52	4,36	23,60
(Δ S in — Δ S fin)				+ 61,14			+ 61,31			+ 61,67

Tabela 9 — Valores da «Afinidade Normal» das três reacções às várias temperaturas — Cal —

Reacções T° K	1753°	1773°	1820°	1873°	1920°	1973°
$O\,Fe + C \rightleftarrows Fe + CO$	+ 26230	+ 26960	+ 28580	+ 30550	+ 31840	+ 33650
$2\,O\,Fe + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2\,Fe$	+ 58471	+ 57989	+ 57280	+ 56815	+ 55413	+ 54673
$2\,CO + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2\,C$	+ 23589	+ 21907	+ 18074	+ 13890	+ 10063	+ 6692

Tabela 10 — Valores de log k das três reacções às várias temperaturas

Reacções T° K	1753°	1773°	1820°	1873°	1920°	1973°
$O\,Fe + C \rightleftarrows Fe + CO$	— 3,27	— 3,32	— 3,43	— 3,567	— 3,627	— 3,729
$2\,O\,Fe + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2\,Fe$	— 7,29	— 7,15	— 7,04	— 6,51	— 6,32	— 6,05
$2\,CO + Si \rightleftarrows SiO_2 + 2\,C$	— 2,95	— 2,70	— 2,48	— 1,63	— 1,15	— 0,53

TRANSPORTES FINITOS

PELO DOUTOR MIRA FERNANDES
PROFESSOR DO I. S. T.

C. D. 513.73

1) Na definição duma conexão afim, não infinitesimal, numa variedade V_n $(x^1, x^2 \dots x^n)$, o prof. Einstein [1] utiliza bivectores cujas componentes são funções das coordenadas de *dois* pontos da variedade, *extremos do transporte,* e não apenas dum só ponto, como as do tensor métrico de Riemann.

Sejam $\overset{i}{A}{}^{\alpha}$ as componentes dum vector contravariante no ponto α. (Os índices latinos $i, k, \dots$ serão sempre usados como índices tensoriais; os índices gregos $\alpha, \beta \dots$ como índices dos pontos a que se referem os tensores). Para uma transformação de coordenadas, $x^i \to \overline{x}^i$, as novas componentes do mesmo vector serão $\overline{A}{}^{k}_{\alpha} = \dfrac{\partial \overline{x}^k_{\alpha}}{\partial x^i_{\alpha}} \overset{i}{A}{}^{\alpha}$, (subentendendo, como habitualmente, o sinal Σ, referido aos índices tensoriais). As coordenadas do ponto α são x^i_{α} no primeiro sistema e $\overline{x}^i_{\alpha}$ no segundo.

Igualmente, as componentes dum vector covariante no ponto α serão representadas por $B_{i\,\alpha}$, sendo

$$\overline{B}_{k\,\alpha} = \frac{\partial x^i_{\alpha}}{\partial \overline{x}^k_{\alpha}} B_{i\,\alpha} .$$

Dados dois vectores $\left(\overset{i}{A}{}^{\alpha}\right)$ e $\left(B_{i\,\beta}\right)$, o primeiro contravariante no ponto α e o segundo covariante no ponto β, serão $T^{i\,\alpha}_{k\,\beta} = \overset{i}{A}{}^{\alpha} B_{k\,\beta}$ as componentes dum bivector mixto, dependente dos dois pontos α e β da variedade, que se transformam segundo a lei

$$1) \quad \overline{T}^{i\,\alpha}_{k\,\beta} = \frac{\partial \overline{x}^i_{\alpha}}{\partial x^h_{\alpha}} T^{h\,\alpha}_{l\,\beta} \frac{\partial x^l_{\beta}}{\partial \overline{x}^k_{\beta}} \left(\text{subentendendo-se } \sum_{hl}\right).$$

Igualmente, sendo $\left(\overset{i}{A}{}^{\alpha}\right)$ e $\left(\overset{k}{B}{}^{\beta}\right)$ dois vectores contravariantes, o primeiro no ponto α e o segundo no ponto β, serão $\overset{i\,k}{U}{}^{\alpha\,\beta} = \overset{i}{A}{}^{\alpha} \overset{k}{B}{}^{\beta}$ as componentes dum bivector contravariante, que se transforma segundo a lei

$$1') \quad \overline{U}^{i\,k}_{\alpha\,\beta} = \frac{\partial \overline{x}^i_{\alpha}}{\partial x^h_{\alpha}} U^{h\,l}_{\alpha\,\beta} \frac{\partial \overline{x}^k_{\beta}}{\partial x^l_{\beta}} .$$

E anàlogamente se definem os bivectores covariantes.

2) Define o prof. Einstein um *processo* de transformação, a que dá o nome de *congelação (rimming)* da seguinte maneira:

Sendo $\overset{i}{\omega}{}^{\alpha}_{k\,\alpha}$ as componentes dum bivector mixto no ponto α (aliás qualquer, desde que seja diferente de zero o determinante $\left| \overset{i}{\omega}{}^{\alpha}_{k\,\alpha} \right|$) chama-se uma *congelação* do vector $\left(\overset{k}{A}{}^{\alpha}\right)$ o vector de componentes

$$2) \quad \overset{*}{A}{}^{i}_{\alpha} = \overset{i}{\omega}{}^{\alpha}_{k\,\alpha} \overset{k}{A}{}^{\alpha} .$$

Do mesmo modo, o vector de componentes

$$3) \quad \overset{*}{B}_{i\,\alpha} = \overset{k}{\sigma}{}^{\alpha}_{i\,\alpha} B_{k\,\alpha}$$

(1) *Bivector fields,* by A. Einstein; *Ann. of Math.,* vol. 45.

chama-se uma *congelação* do vector covariante $\left(B_{\underset{\alpha}{i}}\right)$, por meio do bivector $\left(\sigma^{\overset{k}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{i}}\right)$, cujo determinante $\left|\sigma^{\overset{k}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{i}}\right|$ é diferente de zero.

Escolhidos dois bivectores de congelação, nas condições indicadas, será

$$4) \qquad \overset{*}{T}{}^{\overset{k}{\beta}}_{\underset{\alpha}{m}} = \omega^{\overset{k}{\beta}}_{\underset{\beta}{l}}\, T^{\overset{l}{\beta}}_{\underset{\alpha}{i}}\, \sigma^{\overset{i}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{m}}$$

uma congelação de $\left(T^{\overset{l}{\beta}}_{\underset{\alpha}{i}}\right)$.

Que interesse tem este processo de congelação?

Efectuando, em 1), uma congelação por meio dos bivectores (ω) e (σ), será

$$\overset{*}{T}{}^{\overset{h}{\beta}}_{\underset{\alpha}{p}} = \omega^{\overset{h}{\beta}}_{\underset{\beta}{k}}\, \overline{T}^{\overset{k}{\beta}}_{\underset{\alpha}{m}}\, \sigma^{\overset{m}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{p}} = \left(\omega^{\overset{h}{\beta}}_{\underset{\beta}{k}} \frac{\partial \overline{x}^{k}_{\beta}}{\partial x^{l}_{\beta}}\right) T^{\overset{l}{\beta}}_{\underset{\alpha}{i}} \left(\frac{\partial x^{i}_{\alpha}}{\partial \overline{x}^{m}_{\alpha}}\, \sigma^{\overset{m}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{p}}\right).$$

E é evidente que, combinando uma congelação com uma mudança de variáveis, é possível satisfazer às condições

$$5) \quad \begin{cases} \omega^{\overset{h}{\beta}}_{\underset{\beta}{k}} \dfrac{\partial \overline{x}^{k}_{\beta}}{\partial x^{l}_{\beta}} = \delta^{h}_{l} \\[2ex] \dfrac{\partial x^{i}_{\alpha}}{\partial \overline{x}^{m}_{\alpha}}\, \sigma^{\overset{m}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{p}} = \delta^{i}_{p}, \end{cases}$$

sendo $\left(\delta^{h}_{p}\right)$ o tensor de Kronecker.

Isto é,

$$\overset{*}{T}{}^{\overset{h}{\beta}}_{\underset{\alpha}{p}} = \delta^{h}_{l}\, T^{\overset{l}{\beta}}_{\underset{\alpha}{i}}\, \delta^{i}_{p} = T^{\overset{h}{\beta}}_{\underset{\alpha}{p}}.$$

Isto quere dizer que é sempre possível combinar uma congelação com uma mudança de coordenadas, de tal maneira que as componentes dum bivector fiquem *invariantes* (isto é, *escalares*, para a transformação resultante).

3) A conexão afim, não infinitesimal, de Einstein define-se da seguinte maneira:

a) Dado o bivector mixto *de transporte contravariante* $\left(g^{\overset{i}{\alpha}}_{\underset{\beta}{k}}\right)$, o vector contravariante de componentes

$$6) \qquad A^{\overset{k}{\beta}} = g^{\overset{k}{\beta}}_{\underset{\alpha}{i}}\, A^{\overset{i}{\alpha}}$$

é o vector *transportado* do vector $\left(A^{\overset{i}{\alpha}}\right)$, do ponto α para o ponto β.

b) Dado o bivector mixto de *transporte covariante* $\left(h^{\overset{i}{\alpha}}_{\underset{\beta}{k}}\right)$, o vector covariante de componentes

$$7) \qquad B_{\underset{\beta}{k}} = h^{\overset{i}{\alpha}}_{\underset{\beta}{k}}\, B_{\underset{\alpha}{i}}$$

é o vector *transportado* do vector $\left(B_{\underset{\alpha}{i}}\right)$, do ponto α para o ponto β.

Às relações 6) e 7), estabelecidas *à priori*, impõe Einstein as restrições que resultam dos seguintes postulados:

I) *Se o ponto* β *coincide com o ponto* α, *o vector transportado coincide com o vector original* (tanto no caso de covariância, como no de contravariância).

Como de 6) e 7) resulta

$$A^{\overset{k}{\alpha}} = g^{\overset{k}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{i}}\, A^{\overset{i}{\alpha}} \qquad \text{e} \qquad B_{\underset{\alpha}{k}} = h^{\overset{i}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{k}}\, B_{\underset{\alpha}{i}},$$

deverá ser

$$\mathrm{I_a}): \qquad g^{\overset{k}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{i}} = \delta^{k}_{i}$$

e

$$\mathrm{I_b}): \qquad h^{\overset{i}{\alpha}}_{\underset{\alpha}{k}} = \delta^{i}_{k}$$

sendo $\left(\delta^{k}_{i}\right)$ o tensor de Kronecker.

E recìprocamente.

II) *Um vector não muda quando é transportado de* α *para* β *e, em seguida, de* β *para* α (tanto no caso de covariância como no de contravariância).

De 6) resulta

$$\begin{cases} \overset{l}{A}{}^{\alpha} = \underset{\beta}{\overset{l}{g}{}^{\alpha}_{k}}\, \overset{k}{A}{}^{\beta} \\ \overset{k}{A}{}^{\beta} = \underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}}\, \overset{i}{A}{}^{\alpha} \ . \end{cases}$$

Logo

$$\overset{l}{A}{}^{\alpha} = \underset{\beta}{\overset{l}{g}{}^{\alpha}_{k}}\, \underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}}\, \overset{i}{A}{}^{\alpha} \ .$$

e, portanto, pelo postulado,

$$\text{II}_{\text{a}}) \qquad \underset{\beta}{\overset{l}{g}{}^{\alpha}_{k}}\, \underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}} = \delta^{l}_{i} \ .$$

Anàlogamente, como de 7) resulta

$$\begin{cases} \underset{\alpha}{B_{l}} = \underset{\alpha}{\overset{k}{h}{}^{\beta}_{l}}\, \underset{\beta}{B_{k}} \\ \underset{\beta}{B_{k}} = \underset{\beta}{\overset{i}{h}{}^{\alpha}_{k}}\, \underset{\alpha}{B_{i}} \ , \end{cases}$$

será

$$\underset{\alpha}{B_{l}} = \underset{\alpha}{\overset{k}{h}{}^{\beta}_{l}}\, \underset{\beta}{\overset{i}{h}{}^{\alpha}_{k}}\, \underset{\alpha}{B_{i}} \ ;$$

e, pelo postulado,

$$\text{II}_{\text{b}}) \qquad \underset{\alpha}{\overset{k}{h}{}^{\beta}_{l}}\, \underset{\beta}{\overset{i}{h}{}^{\alpha}_{k}} = \delta^{i}_{l} \ .$$

E recìprocamente.

III) *O produto escalar dum vector covariante por um vector contravariante, no mesmo ponto, é invariante em relação à conexão afim.*

Sendo

$$\overset{k}{A}{}^{\beta} = \underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}}\, \overset{i}{A}{}^{\alpha}$$

e

$$\underset{\beta}{B_{k}} = \underset{\beta}{\overset{l}{h}{}^{\alpha}_{k}}\, \underset{\alpha}{B_{l}} \ ,$$

será também

$$\overset{k}{A}{}^{\beta}\, \underset{\beta}{B_{k}} = \underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}}\, \underset{\beta}{\overset{l}{h}{}^{\alpha}_{k}}\, \overset{i}{A}{}^{\alpha}\, \underset{\alpha}{B_{l}} \ .$$

Isto é,

$$\text{III}) \qquad \underset{\beta}{\overset{l}{h}{}^{\alpha}_{k}}\, \underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}} = \delta_{i} \ ,$$

visto ser, em virtude do postulado,

$$\overset{k}{A}{}^{\beta}\, \underset{\beta}{B_{k}} = \overset{i}{A}{}^{\alpha}\, \underset{\alpha}{B_{i}} \ .$$

A condição III) é ainda suficiente, como as condições I_{a}), I_{b}), II_{a}), II_{b}). Multiplicando ambos os membros de III) por $\underset{\beta}{\overset{i}{g}{}^{\alpha}_{m}}$, será

$$8) \qquad \underset{\beta}{\overset{l}{h}{}^{\alpha}_{k}} \left(\underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}}\, \underset{\beta}{\overset{i}{g}{}^{\alpha}_{m}} \right) = \delta^{l}_{i}\, \underset{\beta}{\overset{i}{g}{}^{\alpha}_{m}} = \underset{\beta}{\overset{l}{g}{}^{\alpha}_{m}} \ .$$

Mas, em virtude de II_{a}),

$$\underset{\alpha}{\overset{k}{g}{}^{\beta}_{i}}\, \underset{\beta}{\overset{i}{g}{}^{\alpha}_{m}} = \delta^{k}_{m} \ .$$

Substituindo em 8), vem

$$\underset{\beta}{\overset{l}{h}{}^{\alpha}_{k}}\, \delta^{k}_{m} = \underset{\beta}{\overset{l}{g}{}^{\alpha}_{m}} \ .$$

ou

$$9) \qquad \underset{\beta}{\overset{l}{h}{}^{\alpha}_{m}} = \underset{\beta}{\overset{l}{g}{}^{\alpha}_{m}}$$

Isto é, *as condições III) e II_{a}) exigem que o bivector de transporte contravariante coincida com o bivector de transporte covariante.*

Substituindo 9) em III), obtém-se II_{b}). E, ainda, em virtude de 9), se se verifica I_{a}), também se verifica I_{b}).

Em resumo: *Das condições III) e II_{a}) resulta, por meio de 9), a condição II_{b}). E, de III) II_{a}) e I_{a}) resultam II_{b}) e I_{b}).*

4) Numa *Nota* anterior [1], da qual é um resumo o que anteriormente fica dito, fiz o

[1] *Connessioni finite* (A. de Mira Fernandes). *Portugaliae Mathematica* — Vol. 4 — fasc. 4, pg. 203.

reparo de que o prof. Einstein, certamente por engano, dissera, na citada *Nota* dos *Ann. of Math.* que a igualdade 9) é consequência de III) e I_a) por meio de 8). Ora, fazendo em 8) $\beta = \alpha$ e aplicando a condição I_a), resulta

$$\overset{l}{\underset{\alpha}{h}}{}^{\alpha}_{k}\, \delta^{k}_{i}\, \delta^{i}_{m} = \delta^{l}_{m} \quad , \quad \text{ou seja} \quad \overset{l}{\underset{\alpha}{h}}{}^{\alpha}_{m} = \delta^{l}_{m} \ ,$$

que é a condição I_b).

De resto, se de III) e I_a) resultasse 9), substituindo 9) em III) viria

$$\overset{l}{\underset{\beta}{g}}{}^{\alpha}_{k}\, \overset{k}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\beta}_{i} = \delta^{l}_{i} \quad \text{e} \quad \overset{l}{\underset{\beta}{h}}{}^{\alpha}_{k}\, \overset{k}{\underset{\alpha}{h}}{}^{\beta}_{i} = \delta^{l}_{i}$$

que são as condições II_a) e II_b).

Isto é, os postulados II_a) e II_b) seriam consequência de III) e I_a), havendo, portanto, apenas *dois postulados distintos*: *I*) e III); o que tornaria ilusória a generalização da teoria, formulada a seguir pelo prof. Einstein, na referida Nota (pg. 21-23).

Mostra ainda o prof. Einstein que a condição I_b) exige que (δ^{k}_{i}) seja *invariante por congelação*. Com efeito, substituindo, em 4), $\overset{l}{\underset{\alpha}{T}}{}^{\beta}_{i}$ por $\overset{l}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\beta}_{i}$ e fazendo $\alpha = \beta$, resulta

$$\overset{k}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\alpha}_{m} = \overset{k}{\underset{\alpha}{\omega}}{}^{\alpha}_{l}\, \overset{l}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\alpha}_{i}\, \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma}}{}^{\alpha}_{m} \ . \text{ Ou seja, em virtude de } I_a),$$

$$\delta^{k}_{m} = \overset{k}{\underset{\alpha}{\omega}}{}^{\alpha}_{l}\, \delta^{l}_{i}\, \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma}}{}^{\alpha}_{m} \ , \text{ como se queria provar.}$$

Isto é,

$$10) \qquad \overset{i}{\underset{\alpha}{\omega}}{}^{\alpha}_{l}\, \overset{l}{\underset{\alpha}{\sigma}}{}^{\alpha}_{m} = \delta^{k}_{m} \ .$$

Das equações 2), 4) e 10) resulta que as equações de transformação 6) e 7), bem como I_a), II_a) e III) são invariantes por congelação. Todas as equações da teoria devem gozar dessa propriedade, sendo consideradas como descripções diferentes da mesma lei de transporte todas as que se podem obter, a partir duma delas, por um processo de congelação.

Sempre que o bivector de transporte $\left(\overset{l}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\alpha}_{i}\right)$ pode ser transformado, por um processo de congelação, no tensor de Kronecker, o espaço diz-se *plano (flat)*.

5) Como o bivector mixto $\left(\overset{k}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\beta}_{i}\right)$ de transporte não tem propriedades invariantes de simetria, mostra o prof. Einstein como uma condição de simetria pode ser imposta ao transporte, à custa de dois bivectores, $\left(g_{i\,\alpha\beta}^{\ \ k}\right)$ e $\left(g^{i\,k}_{\alpha\,\beta}\right)$, um covariante e outro contravariante, por cujo intermédio se define o bivector mixto de transporte. (1)

E, procurando generalizar a teoria, pregunta se a conexão finita pode ser baseada apenas no postulado III); concluindo que, se o transporte há-de ser simétrico, terá certamente de subsistir o postulado I_a), (além de III). Isto é, com os postulados III) e I_a), obtém-se um transporte mais geral (porque se evita o postulado *II*). *Mas não se identificam os bivectores mixtos de transporte, visto que esta identificação (expressa por 9) é consequência de* III) *e* II_a) *(como vimos) e não de* III) *e* I_a).

Quere dizer, o *transporte generalizado por este processo, não tem o mesmo bivector de definição, na covariância e contravariância.*

6) Se admitirmos ainda o seguinte postulado:

IV_a) *O transporte dum vector contravariante de α a β, seguido do transporte de β a γ, é equivalente ao transporte directo do mesmo vector de α a γ*, o que acontece?

Sendo

$$A^{\beta} = \overset{k}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\beta}_{i}\, A^{\alpha} \ , \qquad A^{\gamma} = \overset{l}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\gamma}_{i}\, A^{\alpha} \ ,$$

$$A^{\gamma} = \overset{l}{\underset{\beta}{g}}{}^{\gamma}_{k}\, A^{\beta} \ ;$$

e, portanto,

$$\overset{l}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\gamma}_{i}\, A^{\alpha} = \overset{l}{\underset{\beta}{g}}{}^{\gamma}_{k}\, \overset{k}{\underset{\alpha}{g}}{}^{\beta}_{i}\, A^{\alpha} \ ,$$

(1) L. C. pg. 18.
Vidé também a *Nota* citada do autor, pg. 208.

deverá ser

$$11) \qquad \overset{l}{\underset{\alpha}{g_i^{\gamma}}} = \overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\gamma}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}}$$

Se em 11) fizermos $\gamma = \alpha$, vem

$$12) \qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\alpha}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} = \overset{l}{\underset{\alpha}{g_i^{\alpha}}} \, .$$

Logo, se se verificar I_a) $\left(\overset{l}{\underset{\alpha}{g_i^{\alpha}}} = \delta_i^l\right)$, será

$$\overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\alpha}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} = \delta_i^l$$

que é II_a).

Quere dizer, admitindo IV_a), se se verifica I_a), também subsiste II_a).

Isto é, *os postulados III), IV_a) e I_a) têm como consequência os restantes e igualam os bivectores de transporte* $\left(\overset{i}{\underset{\beta}{g_k^{\alpha}}}\right)$ e $\left(\overset{i}{\underset{\beta}{h_k^{\alpha}}}\right)$.

Contudo, o prof. Einstein demonstrou que, *admitido o postulado III)*, a equação 11) conduz necessàriamente a espaços planos.

Com efeito, de 11) e em virtude de III), resulta

$$13) \qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\gamma}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{i}{\underset{\gamma}{h_m^{\alpha}}} = \overset{l}{\underset{\alpha}{g_i^{\gamma}}} \, \overset{i}{\underset{\gamma}{h_m^{\alpha}}} = \delta_m^l \, .$$

Supondo fixo o ponto γ, podemos escrever

$$14) \qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\gamma}}} = \overset{l}{\underset{\beta}{\omega_k^{\beta}}} \quad e \quad \overset{i}{\underset{\gamma}{h_m^{\alpha}}} = \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma_m^{\alpha}}} \, ,$$

isto é

$$15) \qquad \overset{l}{\underset{\beta}{\omega_k^{\beta}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma_m^{\alpha}}} = \delta_m^l$$

o que prova que o bivector de transporte $\left(\overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}}\right)$ se reduz, por congelação, ao tensor de Kronecker. Portanto, o espaço é *plano*.

Como se verifica 9), resulta que a equação 13) toma a forma

$$16) \qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\gamma}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{i}{\underset{\gamma}{g_m^{\alpha}}} = \delta_m^l \, .$$

Podemos conseguir uma generalização deste espaço plano, diz o prof. Einstein, fazendo $l = m$, na equação 16), e somando em l.

Resulta

$$17) \qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g_k^{\gamma}}} \, \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{i}{\underset{\gamma}{g_l^{\alpha}}} = N$$

sendo N o número de dimensões da variedade. Mas as equações 17) devem ser rejeitadas porque são *escalares* e dependem de *três* pontos do espaço; ao passo que as variáveis $\left(\overset{i}{\underset{\beta}{g_k^{\alpha}}}\right)$ dependem de *dois* pontos e são *bivectores*.

7) Toda esta resumida exposição da teoria das conexões finitas do prof. Einstein, tem em vista a formulação duma axiomática mais geral, conduzindo a espaços que não são *planos*.

Substituamos o postulado III) pelo postulado:

III_1) *A ortogonalidade dum vector covariante e dum vector contravariante, no mesmo ponto, é invariante por transporte.*

Isto é, se for $\overset{i}{A^{\alpha}} \, \underset{\alpha}{B_i} = 0$, também será $\overset{k}{A^{\beta}} \, \underset{\beta}{B_k} = 0$.

Como

$$\overset{k}{A^{\beta}} = \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{i}{A^{\alpha}} \quad e \quad \underset{\beta}{B_k} = \overset{l}{\underset{\beta}{h_k^{\alpha}}} \, \underset{\alpha}{B_l} \, ,$$

será também

$$17') \qquad \overset{k}{A^{\beta}} \, \underset{\beta}{B_k} = \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{l}{\underset{\beta}{h_k^{\alpha}}} \, \overset{i}{A^{\alpha}} \, \underset{\alpha}{B_l} \, ;$$

e, devendo ser $\overset{k}{A^{\beta}} \, \underset{\beta}{B_k} = 0$, quando for $\overset{i}{A^{\alpha}} \, \underset{\alpha}{B_i} = 0$, teremos

$$III_1) \qquad \overset{k}{\underset{\alpha}{g_i^{\beta}}} \, \overset{l}{\underset{\beta}{h_k^{\alpha}}} = P(\alpha, \beta) \, \delta_i^l \, ^{(1)} \, ,$$

(1) Por convenção, a primeira variável em $P(\alpha, \beta)$ é aquela que em (g) pertence ao índice de covariância.

sendo P (α, β) uma função escalar dos dois pontos α e β.

E recìprocamente.

Multiplicando ambos os membros de III_1) por $\overset{i}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}}$, será

$$18)\quad \overset{i}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}}\left(\overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}}\ \overset{l}{\underset{\beta}{h^{\alpha}_{k}}}\right) = P(\alpha, \beta)\ \delta^{l}_{i}\ \overset{i}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \beta)\ \overset{l}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}}.$$

Se admitirmos os postulados IV_a) e I_a), deles resulta, como vimos, II_a); ou seja

$$\overset{i}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}} = \delta^{k}_{m}.$$

De 18) resulta, pois

$$\delta^{k}_{m}\ \overset{l}{\underset{\beta}{h^{\alpha}_{k}}} = P(\alpha, \beta)\ \overset{l}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}},$$

ou

$$19)\qquad \overset{l}{\underset{\beta}{h^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \beta)\ \overset{l}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{m}}}.$$

Os bivectores de transporte covariante e contravariante não serão iguais; entre eles haverá a relação 19).

Em resumo, *admitidos os postulados I_a), IV_a) e III_1), verifica-se II_a) e a equação 19).*

Fazendo, em 19), $\alpha = \beta$, resulta

$$\overset{l}{\underset{\alpha}{h^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \alpha)\ \overset{l}{\underset{\alpha}{g^{\alpha}_{m}}},$$

ou em virtude de I_a),

$$20)\qquad \overset{l}{\underset{\alpha}{h^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \alpha)\ \delta^{l}_{m}$$

E, como

$$\overset{k}{\underset{\alpha}{h^{\beta}_{l}}}\ \overset{i}{\underset{\beta}{h^{\alpha}_{k}}} = P(\beta, \alpha)\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{l}}}\ P(\alpha, \beta)\ \overset{i}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{k}}} =$$

$$= P(\beta, \alpha)\ P(\alpha, \beta)\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{l}}}\ \overset{i}{\underset{\beta}{g^{\alpha}_{k}}},$$

será, em virtude de II_a),

$$21)\qquad \overset{k}{\underset{\alpha}{h^{\beta}_{l}}}\ \overset{i}{\underset{\beta}{h^{\alpha}_{k}}} = \delta^{i}_{l}\ P(\beta, \alpha)\ .\ P(\alpha, \beta)$$

O primeiro membro de 21) é uma função simétrica de α e β.

8) Verificando-se I_a) e IV_a), é ainda válida a equação 11). Isto é,

$$\overset{l}{\underset{\beta}{g^{\gamma}_{k}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}} = \overset{l}{\underset{\alpha}{g^{\gamma}_{i}}};$$

ou

$$\overset{l}{\underset{\beta}{g^{\gamma}_{k}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}}\ \overset{i}{\underset{\gamma}{h^{\alpha}_{m}}} = \overset{l}{\underset{\alpha}{g^{\gamma}_{i}}}\ \overset{i}{\underset{\gamma}{h^{\alpha}_{m}}} = \overset{l}{\underset{\alpha}{g^{\gamma}_{i}}}\ P(\alpha, \gamma)\ \overset{i}{\underset{\gamma}{g^{\alpha}_{m}}},$$

em virtude de 19). Ou

$$22)\qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g^{\gamma}_{k}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}}\ \overset{i}{\underset{\gamma}{h^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \gamma)\ \delta^{l}_{m}.$$

Supondo fixo o ponto γ, podemos escrever

$$22')\qquad \overset{l}{\underset{\beta}{g^{\gamma}_{k}}} = \overset{l}{\underset{\beta}{\omega^{\beta}_{k}}} \quad \text{e} \quad \overset{i}{\underset{\gamma}{h^{\alpha}_{m}}} = \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma^{\alpha}_{m}}}.$$

Donde,

$$23)\qquad \overset{l}{\underset{\beta}{\omega^{\beta}_{k}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}}\ \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \gamma)\ \delta^{l}_{m}$$

O bivector de transporte $\left(\overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}}\right)$ não se reduz, por congelação, ao tensor de Kronecker.

Ainda que tivessemos feito

$$24)\qquad \overset{i}{\underset{\gamma}{h^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \gamma)\ \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma^{\alpha}_{m}}},$$

viria, em vez de 23),

$$23')\qquad \overset{l}{\underset{\beta}{\omega^{\beta}_{k}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{g^{\beta}_{i}}}\ \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma^{\alpha}_{m}}} = \delta^{l}_{m};$$

mas agora, em virtude de 24), 19) e 22'), o bivector (ω) não seria distinto de (σ), e as equações 5) não definiriam uma congelação.

O espaço não é, pois, *plano, no transporte contravariante.*

Também o não é no transporte covariante, porque de 23) resulta

$$25)\qquad \overset{l}{\underset{\beta}{\omega^{\beta}_{k}}}\ \overset{k}{\underset{\alpha}{h^{\beta}_{i}}}\ \overset{i}{\underset{\alpha}{\sigma^{\alpha}_{m}}} = P(\alpha, \gamma)\ P(\beta, \alpha)\ \delta^{l}_{m}.$$

9) Fazendo em 17') $B = A$, isto é, sendo $\underset{\alpha}{A_k}$ as componentes covariantes, em α, do vector $\left(\overset{k}{A^\alpha}\right)$ contravariante; e sendo $\overset{i}{A^\alpha}\ \underset{\alpha}{A_i}$ o quadrado da grandeza do vector (A^i) no ponto α, a equação

$$17') \qquad \overset{k}{A^\beta}\ \underset{\beta}{A_k} = \overset{k}{g_i^\beta}\ \overset{l}{h_k^\alpha}\ \overset{i}{A^\alpha}\ \underset{\alpha}{A_l}$$

tomará, em virtude de III_1), a forma

$$26) \qquad \overset{k}{A^\beta}\ \underset{\alpha}{A_k} = P(\alpha, \beta)\ \delta_i^l\ \overset{i}{A^\alpha}\ \underset{\beta}{A_l}$$

e $P(\alpha, \beta)$, *que suporemos positiva, representará o cociente dos quadrados das grandezas do vector A, no ponto* β *e no ponto* α.

Isto é, $\sqrt{P(\alpha, \beta)}$ *é o multiplicador da grandeza dum vector, no transporte do ponto* α *para o ponto* β.

Sendo assim, e verificando-se II_a), deverá ser

$$27) \qquad P(\alpha, \beta) = \frac{1}{P(\beta, \alpha)}$$

Portanto,

$$P(\alpha, \alpha) = 1,$$

e a equação 20) mostra que é válida I_b). Do mesmo modo, a equação 21) mostra que é válida II_b).

O transporte finito que estamos analisando (com a axiomática I_a), IV_a), III_1)) *não conserva as grandezas dos vectores transportados, dependendo o multiplicador do transporte apenas dos extremos* α *e* β.

Mas esse transporte conserva os ângulos dos vectores transportados.

Com efeito, sendo

$$\begin{cases} \overset{k}{A^\beta}\ \underset{\beta}{B_k} = mod\ \underset{\beta}{A} \,.\, mod\ \underset{\beta}{B}\ cos\ (A, B)_\beta \\ \overset{i}{A^\alpha}\ \underset{\alpha}{B_i} = mod\ \underset{\alpha}{A} \,.\, mod\ \underset{\alpha}{B} \,.\, cos\ (A, B)_\alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} mod\ \underset{\beta}{A} = \sqrt{P(\alpha, \beta)} \,.\, mod\ \underset{\alpha}{A} \\ mod\ \underset{\beta}{B} = \sqrt{P(\alpha, \beta)} \,.\, mod\ \underset{\alpha}{B} \end{cases}$$

resulta de (17') e III_1) que

$$P(\alpha, \beta)\ cos\ (A, B)_\beta = P(\alpha, \beta)\ cos\ (A, B)_\alpha$$

ou

$$cos\ (A, B)_\beta = cos\ (A, B)_\alpha$$

10) Teríamos um espaço idêntico com a axiomática I_b), IV_b) e III_1) sendo IV_b) o postulado correspondente a IV_a) para o transporte covariante.

Qualquer dos dois postulados IV_a) e IV_b), por virtude de III_1), conduz à condição

$$P(\alpha, \beta) \,.\, P(\beta, \gamma) = P(\alpha, \gamma)$$

11) A axiomática I), II), III), corresponde, na teoria infinitesimal (por virtude do postulado III), aos transportes que Struik e Schouten chamaram *invariantes por contracção* (überschiebungs invarianten)

$$(A^i\ B_i = const).$$

Substituindo III) por III_1) temos os transportes *invariantes por incidência* (que conservam a ortogonalidade: $A^i\ B_i = 0$).

Por intermédio dum transporte invariante por incidência, em que os parâmetros são definidos pelas expressões

$$\begin{cases} \Gamma_{ik}^l = \left\{ {ik \atop l} \right\} + C_i\ \delta_k^l \\ \Gamma'^l_{ik} = -\left\{ {ik \atop l} \right\} \end{cases}$$

respectivamente para o transporte contravariante e para o transporte covariante, construíu o Autor uma teoria unitária do espaço físico [1], em que o vector (C_i) representa o potencial electromagnético. Nessa teoria conservam-se os *ângulos*, em ambos os transportes (covariante e contravariante) mas só se conservam as *grandezas* dos vectores contravariantes; a não ser que (C_i) seja um gradiente, porque então ficamos reduzidos a um espaço de Riemann. E temos uma teoria dual desta fazendo

$$\Gamma_{ik}^l = \left\{ {ik \atop l} \right\}$$

$$\Gamma'^l_{ik} = -\left\{ {ik \atop l} \right\} + C_i\ \delta_k^l$$

---

[1] Vidè *Rendiconti della R. Accademia N. dei Lincei* — 1.º sem. de 1932 (pg. 797-804). *Sulla teoria unitaria dello spazio fisico* (A. de Mira Fernandes).

9') Vimos no § 6 que as equações 17), como diz o prof. Einstein, devem ser rejeitadas como equações do campo, porque dependem de *três pontos* do espaço e são *escalares*; ao passo que as variáveis $\left(g^{\alpha}_{k}\right)^{i}_{\alpha}$ dependem de *dois pontos* do espaço e são *bivectores*.

As nossas equações 22) satisfazem às condições desejadas: os seus segundos membros (e, portanto, os primeiros) dependem de *dois pontos* do espaço (α e γ) e *são bivectores*.

Podem, portanto, ser tomadas como equações do campo.

A Mecânica do Solo e as suas aplicações

PELO ENG.º CIVIL (U. P.) MANUEL PIMENTEL PEREIRA DOS SANTOS

Antigo Assistente da Faculdade de Ciências do Porto
Director do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo

(Continuação)

C. D. 624.131

CAPÍTULO V

Estabilização de solos aplicada à construção de estradas e pistas de aviação

1 — O solo

O estudo duma estrada ou dum aeródromo deve começar lògicamente pela observação e análise do solo.

Da observação colhem-se elementos referentes aos mais variáveis factores. Assim, ao fazer-se um furo de sondagem, devem anotar-se cuidadosamente os seguintes: [4]

a) *Profundidade* de cada estrato e maior ou menor nitidez de separação entre estratos sucessivos;
b) *Cor;* tendo em atenção a sua distribuição em manchas, segregações, etc.
c) *Textura;* proporção de partículas de diâmetro inferior a 2 mm;
d) *Material grosso;* proporção e natureza de material de diâmetro superior a 2 mm;
e) *Estrutura;* ou seja a maneira como se agregam e empilham as partículas no solo natural;
f) *Porosidade visível;* espaços entre partículas ou grupos de partículas, fendas.
g) *Consistência;*
h) *Matéria orgânica* (não a superficial mas a das camadas subjacentes).
i) *Raízes de plantas,* dando indicações quanto à distribuição de ar e água;
j) *Condições de drenagem,* deduzidas do exame de vários factores, dos quais o principal é a cor dos vários compostos de ferro, variando com as condições de oxidação. Uma boa oxidação indica boa drenagem; cores esverdeadas e azuladas de origem ferrosa assinalam má drenagem.

Além do ar e da água, podemos distinguir no solo compostos orgânicos e inorgânicos.

A acção da temperatura e da água condicionam de maneira decisiva a decomposição dos materiais inorgânicos.

Certos deles são refractários a essa decomposição; assim a sílica, alumina e o sesquióxido de ferro. Outros decompõem-se muito lentamente; é o caso dos alumino-silicatos. Alguns dissolvem-se na água com dificuldade: sulfato e carbonato de cálcio, carbonato de magnésio. Mas outros sais simples de cálcio, magnésio, e os de potássio e sódio dissolvem-se fàcilmente.

Nos solos mais antigos predominam sais dos dois primeiros grupos; nos modernos é muito maior a proporção dos pertencentes aos dois últimos.

Quanto aos materiais orgânicos, os agentes principais de decomposição são organismos vivos — bactérias, fungos, etc., — cuja acção é tanto mais violenta quanto mais alta for a temperatura e o grau de humidade.

2 — Solos tropicais

Altas temperaturas, ausência de temperaturas baixas, por vezes grandes amplitudes diárias e anuais; chuvas violentas, quase sempre distribuídas numa estação; alto grau de humidade, são algumas das principais características dos climas tropicais.

Tudo isto se reflecte directamente na constituição do solo. A intensidade e velocidade das decomposições atrás referidas são aumentadas pelas altas temperaturas.

A aceleração do processo de decomposição combina-se com o transporte dos materiais solubilizados pela água do solo, resultando finalmente uma percentagem muito elevada de sílica, alumina, e sesquióxido de ferro, que são como vimos indecomponíveis.

entre solos altos, baixos, e de transição entre os dois níveis.

Uma discussão mais ampla do problema levar-nos-ia muito longe, pelo que resumiremos a questão no seguinte esquema, devido a C. G. T. Morrison [4].

Topografia	Altura de Chuva Anual		
	Baixa (< 75 mm)	Média (cerca de 100 mm)	Alta (> 125 mm)
Nível Alto	*Permeável:* (grande percentagem de areia) Solo vermelho ácido, pouco profundo. *Menos permeável:* (menor percentagem de areia): cinzento, alcalino, por vezes com superfície avermelhada.	*Permeável:* Solo vermelho, ácido, profundidade moderada. *Menos permeável:* redistribuição de ferro a profundidades variáveis: laterites, por vezes sob cascalho redondo ferroso.	*Permeável:* Solo vermelho, ácido, profundo. *Menos permeável:* redistribnição de ferro, laterites mais brandas.
Nível Baixo	Argilas alcalinas negras, fendendo profundamente, com segregações de CO^3Ca a pequena profundidade.	Mosaico complexo de argilas alcalinas negras, ou ácidas castanhas, ou cinzentas, dependendo da evacuação das águas caídas se fazer por evaporação ou por drenagem.	Argilas castanhas e cinzentas, ácidas com segregações ferrosas.
Transição	Zonas mal definidas se não houver declives escarpados e prolongados.	Zonas perfeitamente definidas e importantes.	Zonas menos bem definidas se o declive não for suave e prolongado.

Por outro lado, a decomposição da matéria orgânica, é também fortemente acelerada pelas condições de temperatura e humidade, resultando portanto uma pequena quantidade de matéria orgânica, geralmente muito menor do que em climas temperados.

Sendo a água um agente de tanta importância no processo de transformação de solos tropicais, compreende-se que as condições topográficas, que condicionam a distribuição das chuvas e a forma como estas actuam sobre o terreno, tenham aqui uma importância maior do que os factores puramente geológicos. Assim, é necessário distinguir

O zonamento no último tipo de solos diz respeito não só ao solo mas também à vegetação. Os materiais mais grossos dispõem-se na parte mais alta dos declives.

As *laterites* constituem solos formados por nódulos sílico-argilosos, fortemente compactos, com alta percentagem de óxidos de ferro e de alumínio. A camada superficial é geralmente dura, bem drenada e não fende ao secar.

3 — Inspecção do solo

O projecto duma estrada ou aeródromo deve ser antecedido pela detalhada inspec-

ção do solo, tendo por fim a determinação das características deste, condições de drenagem, possibilidades de estabilização, etc.

Pode recorrer-se ao seguinte material: [4]

2 sondas de 4 ou 5 polegadas, com 6 extensões e acessórios;

1 sonda para terreno pedregoso;

1 nível, miras, fita métrica de aço, caderneta de nivelamento;

1 taqueómetro;

4 a 6 bandeirolas, 30 a 40 cavilhas e maço;

Cartas na escala de 1/2.500, se possível;

2 espátulas para remoção de amostras de solo;

Caixas impermeáveis para amostras, e vaselina;

Convém untar e numerar estas caixas prèviamente.

Um investigador com dois ajudantes pode fazer cerca de 400 a 500 metros de inspecção por dia. A existência de laboratórios móveis aumenta muito o rendimento do trabalho, pois os ensaios necessários vão sendo feitos à medida que se progride.

Para o estudo duma estrada ou pista de aviação procede-se como segue:

Fazem-se sondagens de 100 em 100 metros, pelo eixo da estrada ou pista, anotando as profundidades a que se encontram os diferentes tipos de solos, dificuldades encontradas, amostras colhidas para identificação laboratorial, nível de água freático, etc.

O nível de água só deve ser lido depois de deixar o furo aberto em repouso pelo menos uma hora.

Faz-se também o nivelamento do terreno tomando como pontos interessantes os correspondentes às sondagens. Organiza-se finalmente um *perfil do solo* (fig. 85) com a indicação dos elementos investigados.

Pode ser necessário diminuir a distância entre furos até 15 ou 20 metros. As sondagens devem ser levadas até à profundidade em que exista terreno aproveitável.

Sobretudo no estudo de aeródromos, é indispensável o conhecimento profundo das condições de drenagem. Mas estas devem também ser tomadas em devida conta no projecto de estradas, podendo ser necessária uma série de sondagens a ambos os lados daquelas. É necessário uma planta à escala 1/2500, na qual se registem os contornos da toalha de água, bem como as linhas de igual profundidade de água abaixo da superfície.

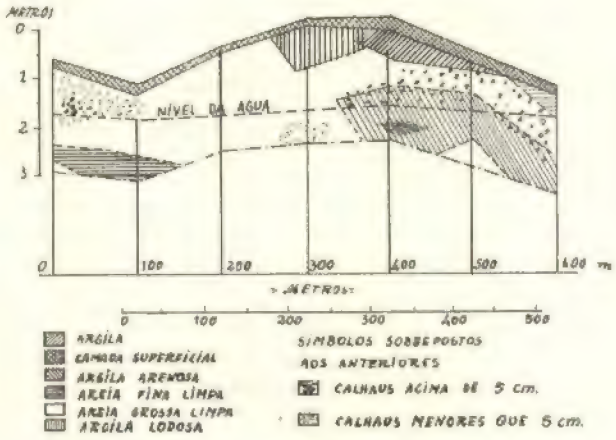


Fig. 85

(Diversos [4] pág. 114)

Estes elementos são essenciais para um projecto consciente de drenagem.

A fig. 86 apresenta um esquema organizado nestes moldes para o estudo dum aeródromo.

4 — Classificação de solos

No capítulo I estudámos já diferentes tipos de classificação. Mas nos trabalhos de estabilização de solos é costume recorrer a outros tipos de classificações, dos quais vamos citar os dois mais importantes.

A classificação da U. S. Public Roads Admnistration divide os solos em 8 grupos, numerados de A-1 a A-8, baseando se simultâneamente na granulometria e na consistência.

Os grupos A-1, A-2, e A-3 são constituídos predominantemente por solos arenosos e pedregosos. Vejamos as suas características:

Grupo A-1:

Solos com boa granulometria e excelente ligante argiloso, limite líquido compreendido

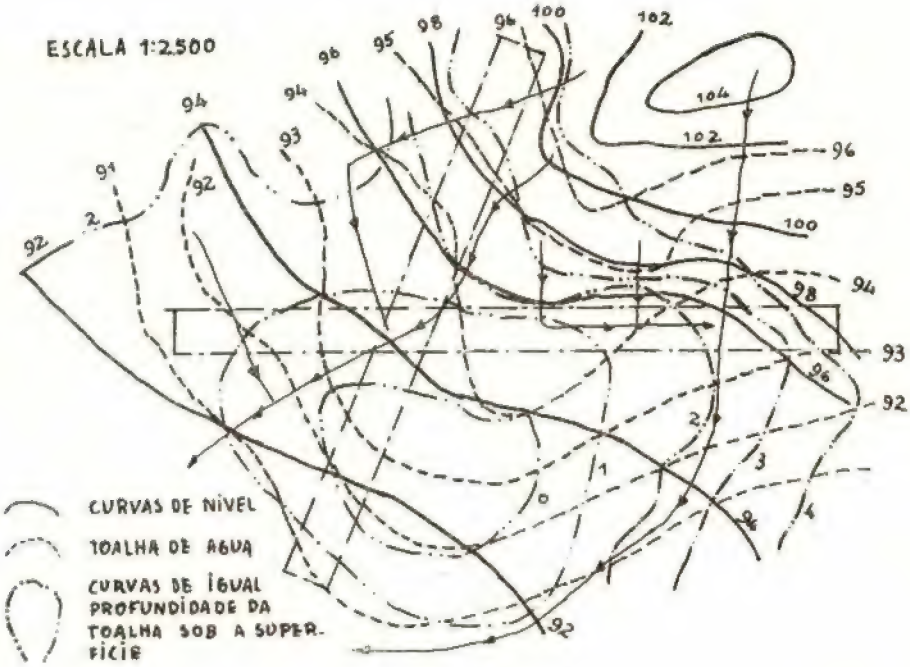


Fig. 86

(Diversos [4] pág. 114)

entre 14 e 35; índice de plasticidade variando entre 4 e 9; limite de retracção quase sempre maior do que 14 e menor do que 20.

Grupo A-2:

Solos de qualidade inferior à dos anteriores, ou por terem pior granulometria, ou por ser pior o ligante, ou ainda pelas duas causas reunidas. O limite líquido é menor do que 33; o índice de plasticidade é maior do que 0 e menor do que 15. Pode existir ou não limite de retracção.

Grupo A-3:

Tem deficiência em finos, sendo constituído sobretudo por areia e cascalho. O limite líquido não excede cerca de 35 e o solo não tem plasticidade.

Os grupos A-4 e A-5 são formados pelos lodos.

Grupo A-4:

Solos lodosos compressíveis. Percentagem de areia inferior a 55 %. Limite líquido entre 20 e 40. Limite de retracção entre 20 e 30. Equivalente de humidade de campo menor do que 30.

Grupo A-5:

Solos lodosos elásticos. Percentagem de areia geralmente inferior a 55 %. Índice de plasticidade entre 0 e 60. Limite de retracção compreendido entre 30 e 120, sendo para muitos solos incluídos neste grupo superior a 50.

Os grupos A-6 e A-7 são constituídos pelas argilas.

Grupo A-6:

Solos lodosos compressíveis, geralmente com mais de 30 % de argila. Limite líquido maior do que 35. Índice de plasticidade superior a 18. Equivalente de humidade de campo não excedendo 50.

Grupo A-7:

Solos argilosos elásticos, geralmente com mais de 30 % de argila. Limite líquido

maior do que 35. Índice de plasticidade superior a 12. Equivalente de humidade de campo alto (30-100) com limite de retracção relativamente baixo (10-30), indicando presença de matéria orgânica coloidal.

Grupo A-8:

Solos orgânicos, turfosos, constituindo por vezes pântanos. Granulometria não diferenciada. Limite líquido entre 35 e 400. Índice de plasticidade variando de 0 a 60. Limite de retracção compreendido entre 30 e 120.

Esta classificação foi alvo de numerosas críticas, alegando-se que os grupos são demasiadamente amplos e que são necessários muitos ensaios.

A classificação de Casagrande, ou dos engenheiros norte-americanos, inclui pelo contrário vários outros grupos, e reduz o número de ensaios necessários. É hoje a mais geralmente adoptada neste ramo da Mecânica do Solo. Está ligada à classificação anterior e aos valores do ensaio da «Califórnia Bearing Ratio». A fig. 87 dá a *carta de plasticidade,* necessária no caso de solos coerentes em que são indispensáveis ensaios de limite líquido e índice de plasticidade. O tipo de solo é designado por duas letras maiúsculas.

Os principais tipos de solos considerados e as letras que lhes correspondem são as seguintes:

Cascalho — G
Areia — S
Lodo — M
Argila — C
Orgânico — O (só para lodos e argilas)
Turfa — Pt (sem subdivisões)

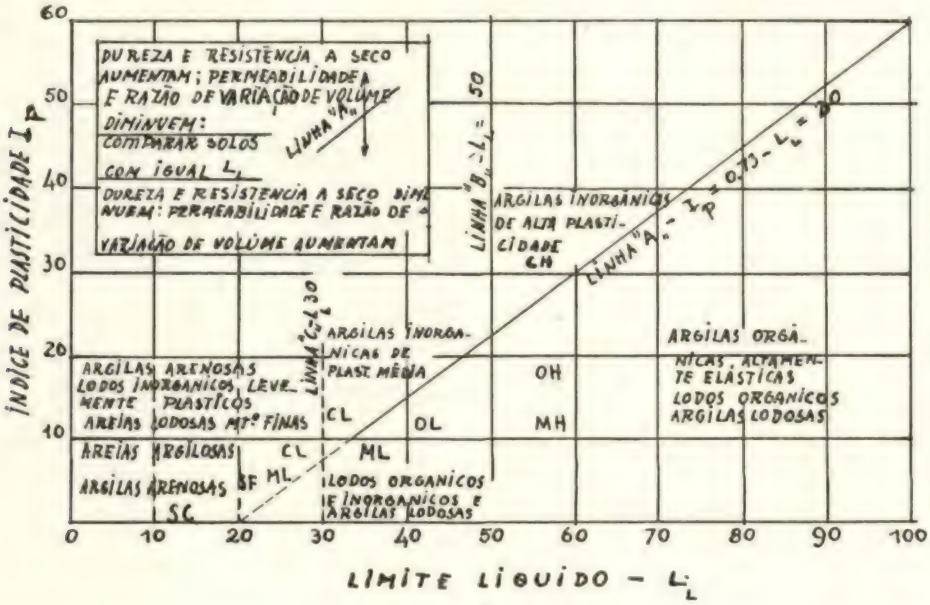


Fig. 87

Resulta a classificação do quadro da página seguinte.

Analisemos mais detidamente os diversos tipos.

Os solos de grãos grossos abrangem cascalho e solos pedregosos (em que predominam partículas retiradas no crivo 3/16″ B. S.) e areias e solos arenosos (com predomínio de partículas passando o crivo de 3/16″ e sendo retidas no crivo n.º 200 B. S.).

A designação de *boa granulometria* indica que a proporção de partículas dum diâmetro dado aumenta contìnuamente com o diâmetro, havendo portanto preponderância dos diâmetros maiores. Os solos não classificados como sendo de boa granulometria subentende-se terem granulometria má.

Pràticamente define-se o *coeficiente de uniformidade* — razão entre os diâmetros correspondentes respectivamente a 60 % e

Grupo	Divisão	Prefixo da Divisão	Natureza e Tipo	Sufixo do Tipo	Designação
Solos de grãos grossos	Cascalho e solos pedregosos	G	Boa granulometria, bem limpos . . . Boa granulometria, ligante argiloso . . Má granulometria, bem limpos . . . . Excesso de finos	W C P F	GW GC GP GF
	Areias e solos arenosos	S	Boa granulometria, bem limpos . . . Boa granulometria, ligante argiloso . . Má granulometria, bem limpos . . . . Excesso de finos	W C P F	SW SC SP SF
Solos de grãos finos	Lodos, areias muito finas, e limos	M	Fraca compressibilidade. Lodos, limos, areias finas argilosas . . . . . . Grande compressibilidade. Solos lodosos, e solos arenosos finos com micas e diatomites	L H	ML MH
	Argilas (inorgânicas)	C	Fraca compressibilidade. Plasticidade média. Argilas arenosas e lodosas. Grande compressibilidade. Alta plasticidade. Argilas gordas e compactas.	L H	CL CH
	Argilas (orgânicas)	O	Fraca compressibilidade. Lodos orgânicos . . . . . . Grande compressibilidade. Argilas orgânicas. Plasticidade razoàvelmente alta	L H	OL OH
Solos fibrosos orgânicos	Turfa e outros solos pantanosos altamente orgânicos		Compressibilidade muito gande		Pt

a 10 % do material. Uma granulometria será boa quando o coeficiente de uniformidade for maior do que 20 e será má se for menor do que 5. Para valores intermédios é necessário recorrer à forma da curva granulométrica.

A classificação dos solos de grãos finos baseia-se nos ensaios de consistência, recorrendo-se à carta de plasticidade (fig. 87).

Os pontos figurativos dos solos inorgânicos situam-se geralmente sobre a linha «A». Abaixo desta e à esquerda da linha «B» (linha de divisão entre argilas de fraca e grande compressibilidade) situam-se solos lodosos e arenosos com alguma pasticidade (M L) e lodos orgânicos (C L). Abaixo da linha «A», ainda, mas para a direita da linha «B» colocam-se os solos lodosos com presença de micas e diatomites.

A separação entre solos lodosos inorgânicos (ML e MH) dos solos lodosos e argilosos orgânicos (OL e OH) não é nítida na carta.

Tem que se recorrer à inspecção e manipulação directas, e mesmo até à análise mecânica. Note-se que os solos orgânicos são dotados por vezes de cheiro activo.

Finalmente, a característica principal dos solos orgânicos fibrosos é a sua elevada compressibilidade.

A tabela anexa fornece todos os dados relativos à aplicação desta classificação e ainda os grupos e valores correspondentes na classificação da U. S. Public Roads, e do C. B. R.

5 — Elementos construtivos duma estrada ou pista de aviação.

Para sistematizar as referências aos diferentes elementos a considerar numa estrada ou pista de rolagem, debaixo do ponto de vista que interessa a este capítulo, designaremos por *pavimento* ao conjunto resistente destinado a transmitir as cargas ao solo subjacente, que por sua vez constituirá a *infrastrutura*. No pavimento distinguiremos três camadas sobrepostas, a saber o *revestimento superficial, a base e a sub-base* [4].

Todos estes elementos são susceptíveis de diferentes formas de constituição e tratamento, a que na devida altura nos referiremos.

6 — Aterros

Muitas vezes a infrastrutura é formada por um aterro, que pode atingir alguns metros de altura. A prática de constituir esses aterros pela simples acumulação de terras de características mais ou menos desconhecidas conduz invariàvelmente a assentamentos e outras perturbações e acarreta despesas de reparação e conservação que podem atingir somas notáveis

A primeira questão a examinar é a relativa às *fundações* dos aterros, pois reconhece-se que estas, tais como as de estruturas usadas na construção civil ou de pontes, precisam de ter assegurada a sua estabilidade. É necessário atender a dois factores distintos, a saber, a *capacidade de resistência do solo* e o seu possível *assentamento* sob as cargas.

Se o primeiro factor não atingir valores suficientes, pode acontecer que se dê a ruptura e com ela uma inutilização mais ou menos completa do trabalho feito.

Mas é muito frequente acontecer que o traçado duma estrada seja conduzido sobre solos fracos, como turfa ou lodo branco. Os pântanos tão vulgares na Colónia de Moçambique, constituem outros tantos obstáculos a que muitas vezes se procura fugir lançando mão de onerosos desvios. Muitas vezes não há contudo razão suficiente para isso. Com efeito, é possível recorrer a métodos que assegurem ao solo a resistência requerida.

Certos desses métodos são conhecidos há bastante tempo.

Um deles [3] consiste em construir o aterro (se a carga resultante deste juntamente com as sobrecargas não atingir valores muito elevados) sobre um estrado formado por fachinas, que além de assegurarem uma maior uniformidade na distribuição das tensões, constituem uma verdadeira armadura absorvendo os esforços de tracção.

Na Holanda e noutros países, recorre-se de preferência à cravação de estacas de madeira, provocando uma consolidação mecânica do solo.

Quando os aterros são altos, nenhum destes processos pode ser usado, tornando-se então aconselhável a substituição do solo por uma fundação de areia ou cascalho.

A remoção da turfa ou lodo pode fazer-se por escavações ou dragagem [3], se a sua espessura não exceder 4 a 5 metros; caso contrário é preciso utilizar outros meios.

Na construção das auto-estradas alemãs, foi sistemàticamente utilizado com perfeito êxito o deslocamento do solo pantanoso por meio de explosivos [4].

A fig. 88 mostra a sequência das diferentes fases do processo.

Assim, em (a) indica-se a constituição de um aterro com bom material, aterro esse que sofre pela acção do seu próprio peso um certo assentamento, penetrando mais ou menos no terreno brando. Abertos furos por meio de jactos de água sob pressão, colocam-se nos seus extremos (situados a cerca de 50 cm da camada resistente) explosivos formando torpedos. Em A colocam-se cerca de 90 kg de dinamite-gelatina; em B e C respectivamente 30 e 20 kg.

Rebentam-se em primeiro lugar os fornilhos exteriores, formando «camouflets» (b); quando, dois segundos mais tarde, se provocam as restantes explosões, o aterro cai

dentro do espaço livre assim obtido (c) e (d). O solo existente é além disso consolidado pela explosão. Resta fazer a recarga (e) para termos o aterro em condição de suportar cargas.

Pode-se proceder, mediante o uso de pequenas cargas explosivas a um tratamento prévio do solo a substituir, antes de colocar o aterro de areia ou cascalho. Assim se diminuem as cargas principais necessárias ao processo pròpriamente dito.

Este método produz grande economia, que na Alemanha se verificou atingir cerca de 80 % do custo da escavação pura e simples da turfa.

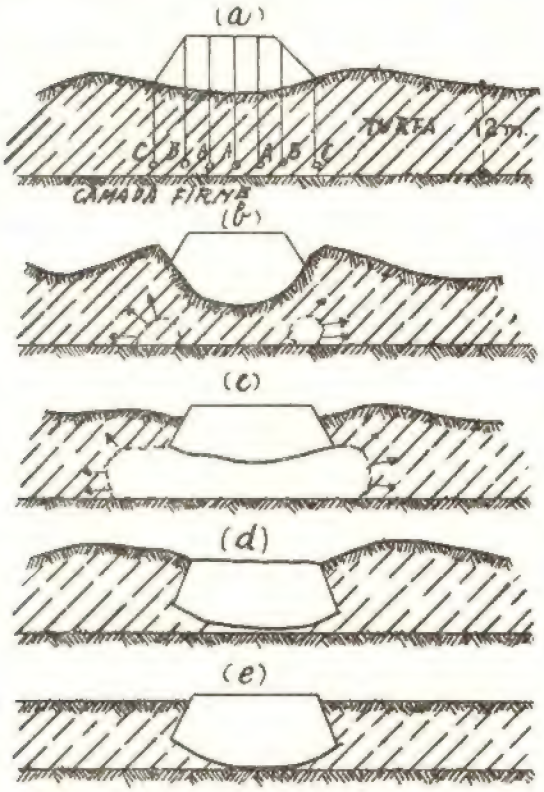


Fig. 88

(Cooling e outros [3] pág. 92)

Como dissemos, no exame das fundações de aterros é necessário ter em conta a possibilidade de fenómenos de assentamento, cuja gravidade se acentua junto de pontes, aquedutos, etc., bem como pelos efeitos que podem ter nos revestimentos superficiais (betão, alcatroados, etc.). Se consultarmos a fig. 28 — esforços máximos sob carga triangular — veremos que estes atingem os maiores valores para o centro do aterro, e a eles corresponderão maiores assentamentos. É necessário portanto ter em conta o valor previsível destes sobretudo para a colocação de aquedutos. Pode convir também acelerar o processo de consolidação, a fim de quando se colocar o revestimento superfícial a água tenha sido expulsa dos canalículos intersticiais e atingido um novo estado de equilíbrio. Consegue-se isso pela utilização de drenos verticais de areia, formados pelo enchimento com este material (ou com cascalho) de furos espaçados entre si de 3 a 5 metros, e com cerca de 0,50 m de diâmetro.

O estudo dos aterros pròpriamente ditos não oferece menor interesse que o das suas fundações. Temos tambem aqui a considerar um *problema de estabilidade* e um *problema de consolidação*. O primeiro, ligado ao declive dos taludes e à resistênsia ao corte do solo utilizado, será tratado duma maneira mais geral num dos capítulos seguintes.

Ao segundo vamos desde já dedicar a nossa atenção.

Houve tempo — e entre nós essa época ainda não terminou — em que o assentamento dum aterro era considerado como inevitável limitando-se os construtores de estradas a deixar um excesso de altura para compensar tal fenómeno. Mas como o assentamento não é de forma alguma uniforme, acontecia que a estrada se apresentava aos altos e baixos, enquanto por outro lado os revestimentos superficiais corriam sérios riscos, sobretudo quando eram constituídos em betão. É particularmente frisante a diferença de assentamentos junto aos encontros de pontes ou nas proximidades de aquedutos. Logo à saída de Lourenço Marques, a Estrada Internacional oferece exemplo disso.

Os modernos processos de compactação do solo têm uma notável aplicação na redução ao máximo desses assentamentos, desde que o solo seja comprimido em camadas de espessura determinada, por meio de equipamento mecânico conveniente.

A compactação artificial do solo assim obtido, além da redução do assentamento

1		2	3	4		5	
Divisões principais		Grupos de solos e suas designações	Símbolos dos grupos	Identificação geral		Observações e ensaios respeitantes ao material «In situ»	Princ de c (amo
				Consistência a seco	Outros exames aconselháveis		
Solos de grãos grossos		Cascalho ou misturas de cascalho e areia, poucos ou nenhuns finos, boa granulometria	G W	Nenhuma	Granulometria e forma dos grãos	Densidade aparente ou índice de vazios, grande compactação, sedimentação, durabilidade de grãos, estratificação e características de drenagem, condições da toalha de água, ensaios de carga ou de C. B. R.	Análi
	Cascalho e solos pedregosos	Misturas de cascalho, areia e argila, excelente ligante, boa granulometria	G C	Média e alta	Granulometria, forma dos grãos, exame do ligante seco e húmido		Anál e lim plásti
		Cascalho, ou misturas de cascalho e areia, poucos ou nenhuns finos, má granulometria	G P	Nenhuma	Granulometria e forma dos grãos		Análi
		Cascalho com finos, cascalho muito lodoso, cascalho argiloso, misturas de cascalho, areia e argila com má granulometria	G F	Desde muito ligeira até alta	Granulometria e forma dos grãos, exame do ligante seco e húmido		Anál e lim plásti se
	Areias e solos arenosos	Areias, por vezes com cascalho, boa granulometria, poucos ou nenhuns finos	S W	Nenhuma	Granulometria e forma dos grãos		Anál
		Misturas de areia e argila, boa granulometria, excelente ligante	S C	Média e alta	Como G F		Análi limite plásti
		Areias com má granulometria, poucos ou nenhuns finos	S P	Nenhuma	Granulometria e forma dos grãos		Análi
		Areias com finos, areias muito lodosas, areias argilosas, misturas de areia e argila com má granulometria	S F	Desde muito ligeira até alta	Como G F		Análi limit plásti se
Solos de grãos finos contendo pouco ou nenhum material grosso	Solos finamente granulados, tendo compressibilidade baixa ou média	Lodos (inorgânicos) e areias muito finas, limo, areias finas lodosas ou argilas com pequena plasticidade	M L	Desde muito ligeira até média	Exame húmido	Densidade aparente, grau de humidade e índice de vazios, consistência das amostras intactas e preparadas, estratificação, buracos de raizes, fendas, etc., drenagem e condições da toalha de água, ensaios de tráfico, ensaios de carga, de C. B. R. ou de compressão	Análi limit plásti
		Argilas (inorgânicas de baixa ou média plasticidade, argilas arenosas, argilas lodosas, argilas magras	C L	Média e alta	Exame do grau de plasticidade		Limi
		Lodos orgânicos e misturas de lodo e argila de baixa plasticidade	O L	Desde ligeira a média	Exame do grau de plasticidade, cheiro		Limi plásti ções pois
	Solos finamente granulados, tendo alta compressibilidade	Areias finas com micas ou diatomites, solos lodosos, solos plásticos	M H	Desde muito ligeira até alta	Exame húmido (ensaio por agitação e plasticidade)		Análi limit plásti
		Argilas (inorgânicas) de grande plasticidade, argilas gordas	C H	Alta	Exame entre limites líquido e plasticidade		Limi
		Argilas orgânicas de média ou alta plasticidade	O H	Alta	Exame entre limites líquido e de plasticidade, cheiro		Limi plásti ções pois
Solos fibrosos orgânicos com compressibilidade muito alta		Turfa e outros solos pantanosos altamente orgânicos	P t	Prontamente identificados		Consisténcia, textura e grau de humidade natural	

5	6	7	8		9	10	
Observações e ensaios respeitantes ao material «In situ»	Principais ensaios de classificação (amostras preparadas)	Valor como fundação quando não sujeito á acção do gelo	Valor como superfície de rolamento em construção de emergência ou em face intermédia		Acção potencial do gelo	Retracção Expansão Elasticidade	Cara de
			Com produtos contra o pó	Tratamento betuminoso da superfície			
Densidade aparente ou índice de vazios, grande compactação, sedimentação, durabilidade de grãos, estratificação e características de drenagem, condições da toalha de água, ensaios de carga ou de C. B. R.	Análise mecânica	Muito bom	Regular ou mau	Muito bom	Nenuma ou muito leve	Quase nenhuma	Mu
	Análise mecânica e limites líquido e plástico do ligante	Muito bom	Muito bom	Muito bom	Média	Muito leve	Prà imp
	Análise mecânica	Bom ou muito bom	Mau	Mau ou regular	Nenhuma ou muito leve	Quase nenhuma	Mu
	Análise mecânica e limites líquido e plástico do ligante se possível	Bom ou muito bom	Mau ou bom	Regular ou bom	Ligeira ou média	Quase nenhuma ou leve	Re prà imp
	Análise mecânica	Muito bom ou bom	Mau	Bom	Nenhuma ou muito leve	Quase nenhuma	Mu
	Análise mecânica, limites líquido e plástico do ligante	Muito bom ou bom	Muito bom	Muito bom	Média	Muito leve	Prà imp
	Análise mecânica	Regular ou bom	Mau	Mau	Nenhuma ou muito leve	Quase nenhuma	Mu
	Análise mecânica, limites líquido e plástico do ligante, se possível	Regular ou bom	Mau ou bom	Mau ou bom	Leve até forte	Quase nenhuma ou média	Re prà imp
Densidade aparente, grau de humidade e índice de vazios, consistência das amostras intactas e preparadas, estratificação, buracos de raizes, fendas, etc., drenagem e condições da toalha de água, ensaios de tráfico, ensaios de carga, de C. B. R. ou de compressão	Análise mecânica, limites líquido e plástico se possível	Regular ou mau	Mau		Média até muito forte	Leve ou média	R
	Limites líquido e plástico	Regular ou mau	Mau		Média ou forte	Média	Prà imp
	Limites líquido e plástico em condições naturais, e depois de secar no forno	Mau	Muito mau		Média ou forte	Média ou alta	
	Análise mecânica, limites líquido e plástico se possível	Mau	Muito mau		Média até muito forte	Alta	R
	Limites líquido e plástico	Mau ou muito mau	Muito mau		Média	Alta	Prà imp
	Limites líquido e plástico em condições naturais, e depois de secar no forno	Muito mau	Inútil		Média	Alta	Prà imp
Consisténcia, textura e grau de humidade natural		Extremamente mau	Inútil		Leve	Muito alta	

9	10	11	12	13	14	15
Acção potencial do gelo	Retracção Expansão Elasticidade	Características de drenagem	Características e equipamento de compactação	Densidade a seco e índice de vazios	C. B. R. para amostras compactadas e saturadas	Grupos comparáveis na classificação das U. S. Public Roads
Nenuma ou muito leve	Quase nenhuma	Muito boas	Muito bom, tractor	> 2,00 e < 0,35	< 40	A — 3
Média	Muito leve	Pràticamente impermeável	Muito bom, cilindro de pés de carneiro	> 2,10 e < 0,30	< 40	A — 1
Nenhuma ou muito leve	Quase nenhuma	Muito boas	Bom, tractor	> 1,85 e < 0,45	25 — 40	A — 3
Ligeira ou média	Quase nenhuma ou leve	Regular ou pràticamente impermeável	Bom, contrôle apertado necessário cilindro de rodas pneumáticas, tractor	> 1,95 e < 0,40	> 20	A — 2
Nenhuma ou muito leve	Quase nenhuma	Muito boas	Muito bom, tractor	> 1,95 e < 0,40	20 — 60	A — 3
Média	Muito leve	Pràticamente impermeável	Muito bom, cilindro de pés de carneiro	> 2,00 e < 0,35	20 — 60	A — 1
Nenhuma ou muito leve	Quase nenhuma	Muito boas	Bom, tractor	> 1,60 e < 0,70	10 — 30	A — 3
Leve até forte	Quase nenhuma ou média	Regular ou pràticamente impermeável	Bom, contrôle apertado necessário de cilindros de rodas pneumáticas	> 1,70 e < 0,60	8 — 30	A — 2
Média até muito forte	Leve ou média	Regulares ou más	Bom ou mau, contrôle apertado necessário, cilindro de rodas pneumáticas	> 1,60 e < 0,70	6 — 25	A — 4 A — 6 A — 7
Média ou forte	Média	Pràticamente impermeável	Regular ou bom, cilindro de pés de carneiro	> 1,60 e < 0,70	4 — 15	A — 4 A — 6 A — 7
Média ou forte	Média ou alta	Más	Regular ou bom, cilindro de pés de carneiro	> 1,45 e < 0,90	3 — 8	A — 4 A — 7
Média até muito forte	Alta	Regulares ou más	Mau ou muito mau	< 1,60 e > 0,70	< 7	A — 5
Média	Alta	Pràticamente impermeáveis	Regular ou mau, cilindro de pés de carneiro	> 1,45 e < 0,90	6	A — 6 A — 7
Média	Alta	Pràticamente impermeáveis	Mau ou muito mau	< 1,60 e > 0,70	< 4	A — 7 A — 8
Leve	Muito alta	Regular ou más	Compactação impraticável			A — 8

a valores que só depois de longos períodos poderiam ser atingidos naturalmente, tem ainda a vantagem de aumentar a resistência ao corte, e portanto como veremos, a estabilidade dos taludes.

7 — Medida da compactação

No capítulo III já indicámos os métodos usados na avaliação do grau de compactação dos solos. Convém distinguir o *método de Proctor,* permitindo determinar qual o aumento de densidade a seco depois de aplicadas as condições normais da compactação, e os métodos de determinação da densidade a seco no campo. Destas grandezas uma outra se deduz de fundamental importância, denominada *compactação relativa.* Esta determina-se pela razão entre a densidade a seco obtida no campo e a resultante do ensaio normal de Proctor. Geralmente, os valores obtidos são altos, podendo oscilar de 90 a 97 %.

Também já sabemos que o *grau óptimo de humidade,* tal como resulta do ensaio de Proctor, é o valor mais aconselhável para a compactação efectuada no campo.

Segundo a densidade varia de 2,25 a 1,45 gr/cm³, conforme os terrenos, o grau de humidade óptimo é cerca de 2 a 5 % inferior ao limite plástico. A determinação deste fornece portanto um valor aproximado da melhor consistência do solo para ser cilindrado.

A «American Association of State Highway Officials» (A. A. S. H. O.) recomenda os seguintes valores para a compactação relativa [36]:

Densidade a seco máxima: gr/cm³	Composição relativa mínima necessária
1,44 — 1,60	100 %
1,60 — 1,76	95 %
1,76 — 1,92	95 %
1,92 — 2,08	90 %
2,08 e superior	90 %

Como indicação aproximada, mas útil, temos a relação entre as densidades a seco e os limites de consistência do solo considerado sob o ponto de vista de compactação possível.

Essa relação é a seguinte:

Densidade a seco máxima: gr/cm³	Qualidade do solo para compactação	Limites de consistência aproximados	
		Limite líquido	Limite plástico
1,10 — 1,60	Não utilizável ou muito fraco	>65	>22
1,60 — 1,76	Fraco	50 — 65	19 — 22
1,76 — 1,92	Regular	32 — 50	16 — 19
1,92 — 2,08	Bom	24 — 32	14 — 16
>2,08	Excelente	<24	<14

A compactação até densidades muito mais altas tem sido modernamente utilizada nos Estados Unidos, sobretudo com argilas altamente plásticas. Para isso introduziu-se um ensaio destinado a substituir o de Proctor, denominado «*Ensaio de compactação modificado A. A. S. H. O*». Utiliza-se o mesmo molde de Proctor, mas o martelo tem 4,5 kg e a compactação faz-se em 5 camadas pela sua queda da altura de 45 cm em 25 pancadas. Isto equivale ao grau de compactação obtido com uma pressão estática de 1.400 Ton/m², ou seja 140 kg /cm².

Esta compactação pesada permite obter o grau óptimo de humidade para uma menor quantidade de água, o que tem vantagem em climas secos, ou mesmo naqueles em que a evaporação é intensa.

A fig. 89 põe este facto nìtidamente em relevo.

Convém por último dar algumas indicações referentes à qualidade dos solos empregados nos aterros.

Comecemos pelos solos coerentes.

As argilas de limite líquido baixo são de compactacção fácil aumentando a sua resistência ao corte. Mas o mesmo não acontece se o limite líquido é alto, pois nesse caso a consolidação sob as cargas é lenta e a resistência ao corte, já de si baixa, pouco aumenta ao menos de início. Embora menos sensíveis à acção do tempo, durante a construção, devem portanto ser evitadas na construção de aterros altos, e são perigosas como fundações destes.

Quanto aos terrenos incoerentes, apresentam um mínimo de densidade na curva *densidade / grau de humidade*. Tal mínimo situa-se entre o grau óptimo de humidade e o estado seco e pulverulento. Este efeito é atribuído à ausência de coesão das partículas, produzindo portanto uma expansão (*bulking*) quando o material se torna muito seco e pulverulento.

Finalmente, os solos calcáreos apresentam curvas de compactação não muito diferentes das dos outros solos, mas muitas vezes ocorrem fendas. Se a percentagem de calcáreo é alta, aumenta o grau de humidade óptimo e diminui a densidade a seco.

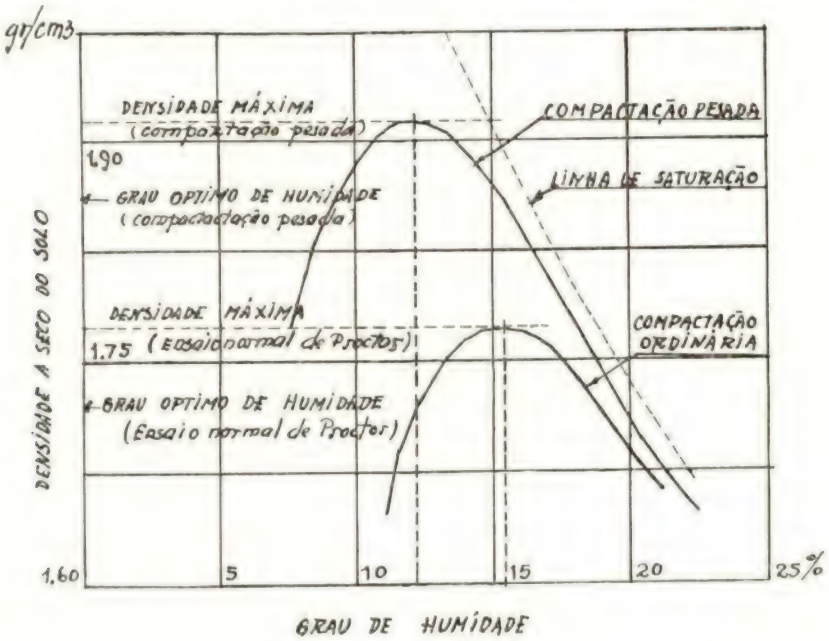


Fig. 89
(Diversos [33] pág. 45)

8 — Tipos de pavimento

É costume dividir os pavimentos em *rígidos* e *flexíveis*. Os primeiros compreendem pavimentos de betão, com ou sem revestimento superficial betuminoso. Os segundos são formados por agregados sem qualquer ligante rígido. É o caso do macadam, asfalto, etc.

Também sob outro ponto de vista, se podem considerar os pavimentos como *permeáveis* ou *impermeáveis*.

9 — Elementos necessários para o projecto de pavimentos.

O projecto dum pavimento destinado a estrada ou aeródromo é hoje levado a efeito com um espírito científico bem diferente dos processos empíricos que até há pouco eram quase exclusivamente usados. Pode dizer-se, também, que o impulso derivado do estado de guerra foi neste capítulo profundo e revolucionário.

É assim necessário ter em conta, além do tipo de pavimento, a natureza e características da infra-estrutura e as condições de tráfico. Nestas convém distinguir a carga por roda, a pressão dos pneus, a intensidade de tráfico e os efeitos de vibrações.

10 — Natureza e condições da infra-estrutura

Não pode existir uma boa estrada se a infra-estrutura não obedecer aos requisitos necessários. Geralmente torna-se necessário proceder à compactação da parte superior, a fim de assegurar uma fundação mais estável e uniforme para o pavimento. Esta regra não é contudo absolutamente geral, pois certos solos argilosos podem ver diminuída a

sua resistência às cargas após a preparação e compactação.

Em aterros, a compactação necessária é de 95 % na camada superior, com um mínimo de 15 cm de espessura; e de 90 % na inferior, cuja espessura não deve exceder 22,5 cm *antes* da compactação.

Em trincheiras, basta compactar a 95 % a camada superior de 15 cm pelo menos, convenientemente escarificadas. O controle desta compactação deve fazer-se por meio de ensaio modificado A. A. S. H. O. Nos aeródromos, as espessuras das camadas são geralmente maiores do que os valores indicados para estradas.

Os ensaios de laboratório geralmente necessários são os seguintes:

—Análise mecânica e consistência (localização do solo na classificação de Casagrande)
—grau de humidade
—densidade
—Califórnia Bearing Ratio (adiante exporemos a forma de realizar este ensaio)
—características de expansão (o tratamento dos solos expansivos deve ser conduzido sob aspectos diferentes)
—permeabilidade
—ensaio de compactação modificado A. A. S. H. O.
—ensaios de carga sobre placas.

Além disso as investigações de campo devem conceder uma especial atenção aos problemas de drenagem.

As deslocações da água na infra-estrutura podem ter origem na sua penetração através do leito da estrada (revestimentos superficiais permeáveis, combinados por vezes com ausência de drenagem superficial, juntas mal executadas, fendas, etc.). Mas a água pode também penetrar lateralmente, através das valetas permeáveis, ou em virtude duma toalha de alto nível freático proveniente dum dos taludes elevados da estrada. E até mesmo inferiormente se a toalha freática estiver alta. Deixemos de lado o caso dos solos lodosos ou pantanosos que constituem só por si infra-estruturas de rejeitar.

O estudo das condições de drenagem é portanto essencial tanto em estradas como em aeródromos. Ele sai evidentemente fora da natureza deste trabalho. Portanto apenas diremos que não convém, do actual desprezo em que entre nós a conveniente drenagem das infra-estruturas é tida, cair no extremo oposto de drenar solos em condições contra indicadas. É o caso da maioria dos solos coerentes, em que os drenos abertos são inúteis, e apenas têm interesse obras enterradas, para abaixar o nível de água freática, eliminar nascentes, e impedir a deslocação de correntes em direcção às áreas pavimentadas.

Quando há necessidade de preparar a infra-estrutura muito antes da execução do pavimento, o tráfico não deve ser permitido no intervalo senão em casos excepcionais, através da protecção com uma camada de terra a ser removida mais tarde com buldozer, ou mesmo recorrendo a um revestimento betuminoso (o que quase nunca se faz dado o seu custo). A protecção com terra é aconselhável mesmo sem que o tráfico seja permitido.

11 — Carga por roda

Para efeito de projecto, pode supor-se a carga transmitida por cada roda ao pavimento distribuída uniformemente na zona de contacto tomada como rectangular, e distribuindo-se a 45° para o cálculo das zonas interessadas na base e infra-estrutura.

Os valores da pressão actuante assim obtidos são ligeiramente inferiores à máxima pressão real sob o centro de carga.

O máximo esforço de corte resultante da distribuição teórica de carga é de cerca de 1/3 da pressão aplicada, e tem lugar a uma profundidade de cerca de 1/2 da largura da área carregada.

12 — Pressão do pneu

Uma variação da pressão do pneu corresponde a um aumento ou diminuição da área de contacto, e portanto corresponde à variação da espessura efectiva da base.

13 — Intensidade do tráfico

Durante a segunda guerra mundial, numerosos ensaios foram concebidos e executados para pôr em evidência o papel da intensidade do tráfico, ou seja, do número de repetições da carga num tempo fixo. Algumas conclusões foi possível tirar da extrema importância para a construção de estradas e aeródromos.

Assim reconheceu-se o perigo da zona mais esforçada da infra-estrutura — que por vezes está mesmo já de si sobre-esforçada — suportar numerosas repetições de cargas. O fenómeno toma aspectos diferentes conforme a natureza do solo. Para solos coerentes, traduz-se por deformações plásticas importantes da infra-estrutura, a fendilhação do pavimento e depois a sua ruptura completa.

Em solos arenosos, o efeito produzido é uma maior compactação, aumento de pressão de água nos poros, e retracção.

Convém portanto que o solo seja ao mesmo tempo consistente e compacto, de forma a nada ter a temer das repetições de carga.

Podemos desde já registar os objectivos a conseguir com um dado pavimento; Markwick [3] indica-os como sendo a obtenção da máxima resistência na infra-estrutura, a protecção dessa resistência por meio duma drenagem apropriada e da não entrada de água superiormente — e finalmente, a construção do pavimento com a espessura necessária e suficiente para que a infra-estrutura não seja sobre-esforçada.

14 — Vibração

Os efeitos de vibração têm sobretudo importância em pistas de aeródromos em que os aviões aquecem os seus motores antes de descolarem. Certas medidas indicaram um aumento de 25 % da deformação do solo sob as cargas.

15 — Base e sub-base

São duas importantes partes do pavimento. A sub-base deve constituir uma superfície de trabalho limpa e firme. Tem por funções distribuir a carga e interceptar os efeitos da capilaridade provenientes da infra-estrutura.

Muitas vezes constitui-se com cinzas, mas suficientemente espessa para aguentar um cilindro de 1.500 kg. Uma óptima sub-base é constituída por uma mistura de areia e cinzas mais 5 % de cimento.

Por sua vez, a base constitui a parte essencial do pavimento. Forma uma camada para assegurar uma boa drenagem e uma transmissão uniforme das cargas. Substitui muitas vezes solos muito compressíveis ou expansíveis. Fornece uma defesa contra à acção do gelo. Finalmente, permite a utilização de equipamento de construção mesmo debaixo de mau tempo.

A base deve apresentar uma compactação de 95 %. Pode ser obtida por processos de estabilização, tais como serão em breve descritos ou pela colocação de materiais transportados de outros pontos mais ou menos distantes.

16 — Revestimento especial

O papel deste constituinte de pavimento tem o seu maior valor quando se empregam solos coerentes, pois é necessário impedir a percolação da água de modo a atingir a infra-estrutura; com efeito a água absorvida por esta tenderia a destruir a sua resistência, em virtude de não poder ser perdida por evaporação.

17 — Determinação da espessura de pavimentos rígidos

Um pavimento rígido, como o constituído em betão, é assimilado, para efeitos de cálculo, a uma lage elástica sobre uma infra-estrutura também elástica.

O método geralmente seguido é devido a Westergaard, e a ele tivemos já ocasião de nos referir no capítulo anterior.

Vamos no entanto acrescentar alguma coisa mais ao que ficou dito.

Temos em mente o estudo do que em Teoria Matemática da Elasticidade se chama um sólido elástico semi-indefinido. É sabido que a esse sólido ideal se aplicam as expres-

sões de Boussinesq desde que seja isotrópico e homogéneo pelo que diz respeito às propriedades elásticas.

Mas suponhamos que em lugar da isotropia lidamos com ortotropia — quer dizer, as propriedades elásticas estão associadas com planos de simetria normais entre si. Para restringir mais o problema, diremos ainda que um dos planos de simetria é horizontal, e que coincidem as propriedades ligadas aos dois planos verticais. É o caso da estratificação que caracteriza a maioria dos terrenos formados por sedimentação. Poder-se-ia supor então que o módulo de elasticidade de tais solos tinha o mesmo valor. E_u em camadas horizontais, e um valor diferente e mais pequeno E_v na direcção vertical. É esta a base dum método seguido por Wolf. [15] Contudo, Westergaard [15] baseia as suas deduções na hipótese da existência no sólido semi-indefinido de membranas horizontais perfeitamente flexíveis, impedindo qualquer deformação no seu sentido, mas em nada contrariando a deformação no sentido vertical. Obtém-se assim a expressão para o esforço normal vertical sob uma carga concentrada P

$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi R^2} \; C \left[\frac{1}{C^2 + (R/z)^2}\right]^{3/2} \qquad (98)$$

com o significado habitual das letras, e sendo C uma constante de valor

$$C = \sqrt{\frac{1-2m}{2(1-m)}} \quad . \; . \; . \quad (99)$$

Comparemos com o valor já estabelecido para o mesmo esforço deduzido da Teoria de Boussinesq, (31) (79), que se pode pôr sob a forma

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi R^2} \left[\frac{1}{1 + (R/z)^2}\right]^{\frac{5}{2}} \qquad (100)$$

O coeficiente de Poisson m na formula (99) é referente ao material suposto existente entre as membranas.

Para o projecto dos pavimentos de betão, existem nomogramas aplicando os resultados do cálculo, para diferentes casos de carga, como já fizemos referência no capítulo anterior.

Esses nomogramos permitem obter directamete a espessura das lages de betão, em função da carga por roda e do módulo de reacção do solo, precedentemente definido.

A determinação desta última grandeza faz-se por um *ensaio de carga sobre placa,* executado da seguinte forma [4]:

—preprara-se o terreno, à profundidade necessária, ou, se se trata duma construção em aterro, faz-se uma para ensaio com $0^m,75$ de altura;

—faz-se a compactação no grau desejado, muitas vezes manualmente e por camadas finas;

—utilizando por exemplo um macaco ligado a um veículo pesado faz-se aplicação gradual da carga sobre uma placa circular de $0^m,75$ de diâmetro;

—o ensaio de carga é levado até à ruptura do solo, ou, se esta não for atingida, até uma vez e meia a pressão estática exercida pelo pneu;

—traçada a curva carga-deformação (fig. 90) determina-se a pressão p que produz o assentamento de 1 mm; o módulo de reacção de solo será

$$E_1 = \frac{p}{0{,}1} \text{ Kgr/cm}^2\text{/cm}$$

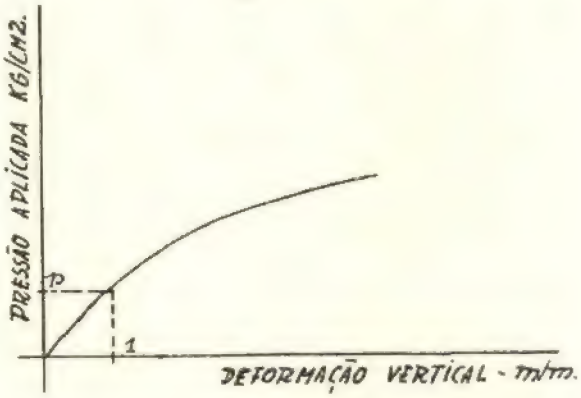


fig. 90

O valor de 1 mm, escolhido para a medida, é um valor que a prática mostra conveniente. Duma maneira geral, para a deformação y e sendo p a carga que a produz, tem-se

$$E_1 = \frac{y}{p}$$

Se se quiser atender à redução da capacidade de carga produzida pela saturação da infra-estrutura (por acção capilar), comparam-se os resultados do ensaio obtido com o grau óptimo de humidade e com o solo saturado. Sendo p_s a pressão que produz neste a mesma deformação que a pressão p produzia naquele, o módulo de reacção do solo corrigido será $E_s = \frac{p_s}{p} \cdot E_1$ . . . . . (101)

O exame dos resultados do ensaio de carga sobre placas já nos permite avaliar se se torna necessária a constituição de *base* no pavimento, ou, se pelo contrário, esta poderá ser dispensada.

Se o módulo de reacção do solo tem valores baixos, ou duma maneira geral, se a espessura das lages calculadas pelas curvas de Westergaard atinge ou excede 6 cm, é aconselhável a constituição duma base. Esta tem como resultado uma redução da espessura das lages, como correspondência do aumento do valor de E_1.

Costuma entrar-se nas fórmulas e curvas de Westergaard com o valor do módulo de reacção solo determinado para a base assim formada, mas com a correcção de saturação da infra-estrutura, avaliada como se não existisse base.

18 — Determinação de espessura de pavimentos flexíveis

Todos os métodos utilizados com este fim são semi-empíricos. O mais simples consiste na simples classificação do solo (Casagrande) estabelecendo para o solo o pavimento que a experiência aconselhou para casos semelhantes.

Em solos argilosos, é aconselhável o método de Glossop e Golder, lançando mão das características resistentes do solo cientìficamente determinadas.

Finalmente, o terceiro método o C. B. R. (Califórnia Bearing Ratio), hoje talvez o mais extensamente usado.

19 — Método de Glossop e Golder [4]

Começa-se pela colheita de amostras no solo interessado até uma profundidade de cerca de 1,20 m abaixo do projectado nível do pavimento, convindo ensaiar amostras colhidas de 15 em 15 cm a fim de se avaliar convenientemente a variação das características com a profundidade. Determina-se a resistência ao corte (ensaio de compressão não limitada), grau de humidade, limites líquido e plástico. Numa primeira investigação, o intervalo entre as sondagens pode ser contudo da ordem dos 300 m.

Depois que o «scrapers» escavaram o leito da estrada ou pista até ao nível desejado, faz-se nova série de ensaios, mas desta vez só para determinação da resistência ao corte. As sondagens podem agora ser mais aproximadas. Se os ensaios indicarem a necessidade dum pavimento demasiadamente espesso, poderá proceder-se a uma escavação adicional, para se cobrir o solo local com uma camada de material de melhor qualidade.

Registam-se gràficamente os resultados dos ensaios, tomando resistências ao corte em abcissas e profundidades em ordenadas, com escalas convenientemente escolhidas para se poderem utilizar as escalas transparentes que acompanham o aparelho de compressão não limitada.

O conhecimente dos esforços na infra-estrutura é necessário para a determinação da espessura de pavimento a construir.

Supondo o solo como um sólido homogéneo semi-indefinido, podem utilizar-se a fórmula de Boussinesq (100). Para isso, fixa-se a carga por roda, a área de contacto do pneu (medindo os eixos maior ou menor da elipse e calculando a área do círculo equivalente) e determina-se a pressão suposta distribuída numa área circular. Existem soluções tabeladas da equação (100). A espessura do pavimento a construir deve ser tal que as tensões produzidas na infra-estrutura não excedam um determinado valor limite.

Qual o valor limite a considerar? Três critérios se podem seguir.

a) Atendendo a que quando se atinge o estado plástico é

$$p = \pi s \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (102)$$

pode-se procurar manter p constantemente abaixo do valor πs (sendo s a resistência ao corte).

b) A partir da pressão que produz a ruptura ao corte, pode proceder-se pela aplicação dum factor de segurança. Geralmente toma-se o valor de Hencky para a pressão que produz ruptura ao corte duma área circular carregada

$$p = 5{,}64\ s \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (103)$$

com um factor de segurança de 2 1/2 a 3, aplicado à *pressão média* sobre a superfície da infra-estrutura. Para isso toma-se um rectângulo, após a medida da área entre a linha da base e a curva σ_z correspondente à profundidade considerada, obedecendo às seguintes condições:

volume do sólido gerado por revolução do rectângulo em torno da vertical pelo centro = volume do sólido gerado pela revolução da linha σ_z em torno da mesma vertical; altura do rectângulo menor do que a máxima pressão; base do rectângulo menor do que a distribuição de pressões e maior do que a área carregada.

A pressão média é a altura do rectângulo assim caracterizado.

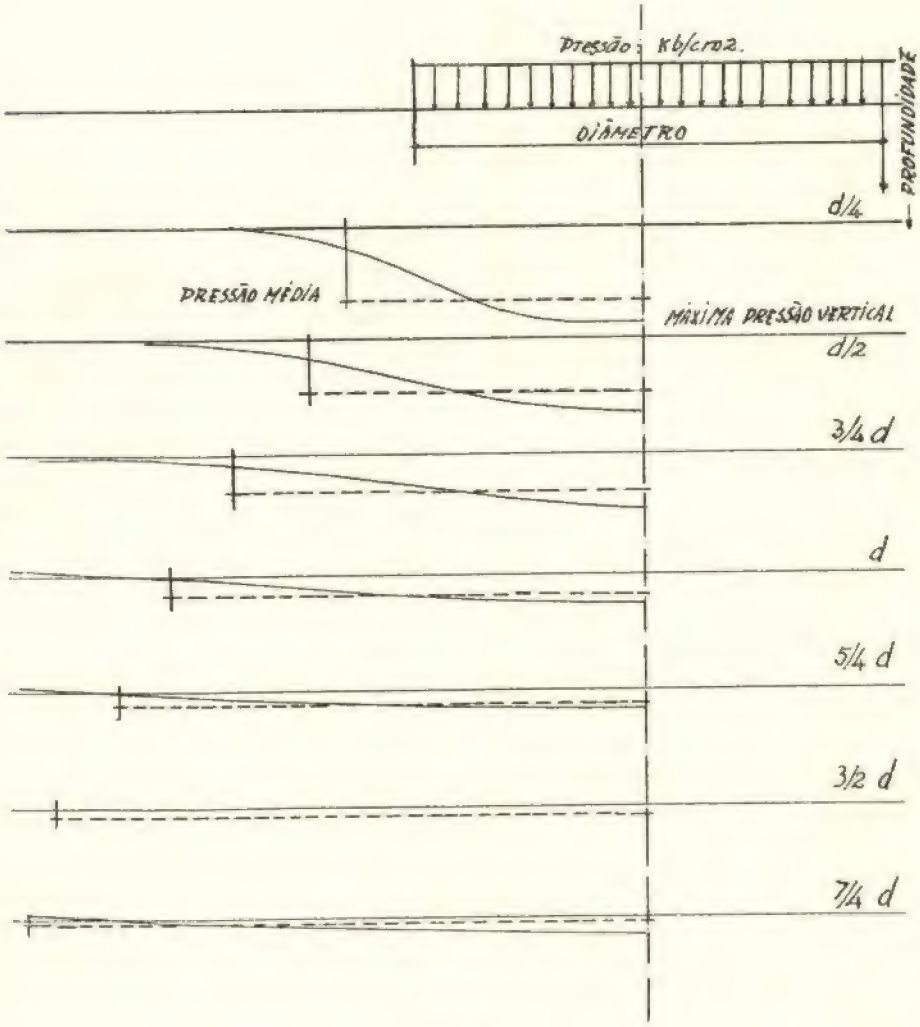


Fig. 91

(Diversos [4] pág. 66)

A fig. 91 elucida estas condições mais completamente do que a sua exposição, forçosamente confusa.

c) Finalmente, poder-se-á manter a *pressão média* inferior a πs.

Glossop e Golder traçaram curvas dando imediatamente a espessura da base necessária ao pavimento, na hipótese *a*).

A espessura necessária pode fazer-se variar na construção de maneira contínua, conforme a natureza da argila.

Os pavimentos podem ser de solo estabilizado, betão não armado, macadam, etc., cuja espessura será, como se disse, calculada de forma a assegurar uma pressão na infra-estrutura obedecendo a uma das condições a) b) ou c).

20 — Método do C. B. R.

O Departamento de Estradas da Califórnia desenvolveu num trabalho de alguns anos um método empírico para a determinação da espessura de pavimentos flexíveis.

Designa-se neste método por C. B. R. (Califórnia Bearigh Ratio) para um dado solo à relação entre a resistência à penetração do solo em estudo e a dum solo ideal, para uma mesma profundidade de penetração.

Toma-se para solo ideal aquele que para uma velocidade de penetração de 1,27 mm / minuto (ou seja 0,05″ / minuto) apresenta as seguintes resistências:

Penetração		Resistência do solo (Pressão necessária sobre a agulha)	
m/m	Polegadas	Kg/cm²	Libras/pol. quadrada
2,5	0,1	70,3	1.000
5,1	0,2	105,5	1.500
7,6	0,3	133,6	1.900
10,2	0,4	161,7	2.300
12,7	0,5	182,8	2.600

Para fins de projecto, é normalmente usado o C. B. R. correspondente à penetração de 0,1″. Assim, suponhamos um solo que forneceu os seguintes resultados: [4]

Penetração Pol.	Pressão medida libras/pol. quad.	Pressão de comparação libras/pol. quad.	C.B.R.
0,1	110	1.000	11 %
0,2	150	1.500	10 %
0,3	180	1.900	9 %
0,4	210	2.300	9 %
0,5	230	2.600	9 %

Utiliza-se normalmente o C. B. R. de 11 %.

Os resultados das numerosas observações levadas a cabo na América permitiram a elaboração do gráfico da fig. 92, fornecendo a espessura necessária de pavimentos em solos de C. B. R. compreendidos entre 2 e 100 % e para cargas por roda variando de 1.814 a 31.752 kg (4.000 a 70.000 libras). Na mesma figura se encontra a posição aproximada das classificações de solos mais usadas (Casagrande e U. S. Public Roads) bem como valores do módulo de reacção do solo.

Estas curvas devem ser usadas tomando o C. B. R. correspondentes às piores condições do material no campo. Se só for possível obter no campo 75 % de compactação, não faz sentido determinar um C. B. R. para uma compactação de 100 %.

A solução dos problemas a resolver nem sempre é única, dependendo dos materiais disponíveis. O exemplo que vamos dar, devido a Wilson e Fox, traduz bem esse facto. [4]

Suponhamos que queremos projectar uma pista de aeródromo para cargas de 37.000 libras por roda, sendo o C. B. R. da infra-estrutura de 8 % e dispondo dos seguintes materiais para constituição da base:

Material	Grupo	C. B. R.
N.º 1	S F	15
N.º 2	S P	30
N.º 3	G W	80

(Continua)

PROCESSOS UNITÁRIOS DA QUÍMICA ORGÂNICA

POLIMERIZAÇÃO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL MANUEL CHAGAS ROQUETTE

(Assistente do I. S. T.)

(Continuação)

C. D. 661.73

b) *Polimerização contínua*

Grande parte dos termo-plásticos é obtida por processos contínuos. A Alemanha foi até ao fim da 2.ª Guerra Mundial, o país que maiores tonelagens fabricou destes produtos. Como elemento de elucidação vejamos a capacidade de produção alemã e percentagens, em que entravam nessa produção os processos contínuos, relativamente aos materiais termo-plásticos mais correntes:

	Capacidade anual de produção	Percentagem da produção por processos contínuos
Polistireno	6.000 ton	85 %
Cloreto de polivinilo	27.500 ton	35 %
Acetato de polivinilo	9.600 ton	19 %
	(valores referentes ao ano de 1944)	

O stireno e o acetato de vinilo são polimerizados, contìnuamente, em massa; o policloreto de vinilo é obtido, principalmente, por polimerização em emulsão aquosa.

Os processos contínuos aplicados têm muitas características comuns. Em geral o equipamento é constituído por autoclaves de paredes pouco espessas; pela parte superior são adicionadas as moléculas monoméricas.

O polímero é retirado pelo fundo da autoclave. Por vezes, utilizam-se as autoclaves como pre-polimerizadores, prosseguindo o processo contínuo, em torres, ou fornos túneis, nas extremidade das quais se obtém o produto final.

A grande diferença entre os pesos específicos do polímero final e das moléculas monoméricas ou dos polímeros de cadeia curta, facilita a separação daquele.

Em todos estes processos os débitos e a dissipação de calor, são regulados de modo tal que impedem qualquer ebulição ou agitação mais intensa do meio.

O stireno é polimerizado sem catalisador em equipamento revestido de alumínio ou de aço inoxidável.

O acetato de polivinilo é produzido por um processo muito semelhante ao do stireno, mas com o auxílio dum catalisador do tipo (peróxido de benzoilo).

O policloreto de vinilo é obtido a pressões de 5-6 kg/cm^2 em autoclaves, revestidas internamente de vidro.

Qualquer destas polimerizações é fortemente exotérmica.

Vejamos como exemplo típico a polimerização do stireno.

Obtenção por polimerização contínua do polistireno

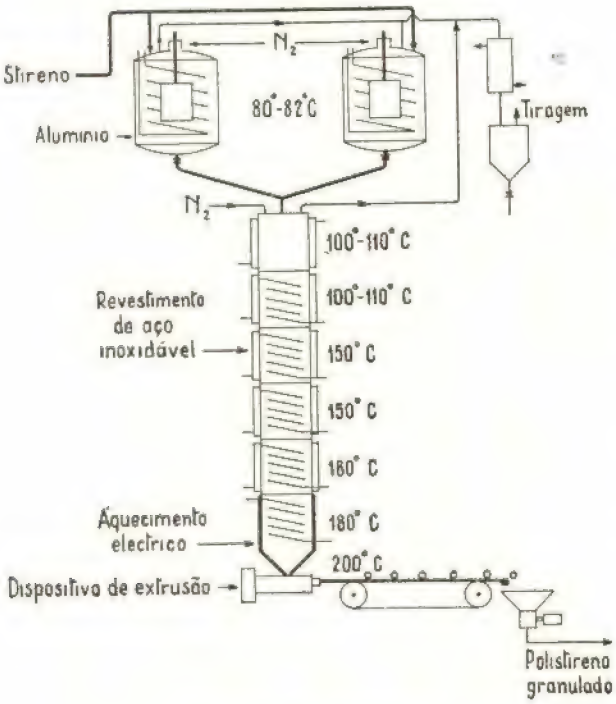
(processo da torre)

A capacidade da instalação que vamos descrever, resumidamente, é de cerca de 1 tonelada por dia. Uma unidade deste tipo pode manter-se, por longo período, em funcionamento contínuo, se o controle for cuidadoso, e elevado o grau de pureza das moléculas monoméricas.

A matéria prima (stireno) deve ter pelo menos 99,5 % de pureza e apenas encerrar vestígios de divinilbenzeno (máximo 0,03 %). Maiores percentagens desta impureza acarretariam a acumulação de polímero

insolúvel nas paredes e principalmente nas juntas da torre de polimerização.

Este método de fabrico permite obter um polímero de elevado peso molecular ($\overline{M}_n$ = = 187.000).



Obtenção por polistireno por polimerização contínua

Fundamentalmente a instalação consta de 2 pré-polimerizadores e de 1 torre de polimerização.

Diversas razões impuseram a necessidade desta polimerização se realizar inicialmente nos pré-polimerizadores, e só depois ser completada na torre de polimerização. Assim na fase inicial da polimerização é necessário trabalhar-se a temperatura relativamente baixa (= 80° C), a fim de se atingir um valor conveniente de $\overline{DP}_n$. Porque a velocidade de polimerização é fraca a essa temperatura, necessitar-se-ia duma torre de polimerização excessivamente comprida se não existissem os pré-polimerizadores. A parte inferior da torre de polimerização precisa manter-se a uma temperatura da ordem de 200° C, a fim de permitir que o polímero que se produz constantemente saia com uma viscosidade conveniente.

Por outro lado os pré-polimerizadores fornecem um polímero correspondente à taxa de transformação de 0,35 e ainda com uma viscosidade relativamente baixa, que permite a sua fácil carga na cabeça da torre de polimerização.

O facto de existirem 2 pré-polimerizadores por cada torre de polimerização explica-se por serem aquelas unidades as mais vulneráveis, e sujeitas frequentemente a reparações e limpezas. Quando existe a necessidade de desligar um dos pré-polimerizadores, para qualquer reparação, a outra unidade continua a alimentar a torre de polimerização, que prossegue assim no seu funcionamento, ainda que com a produção horária reduzida sensìvelmente a metade.

Pré-polimerizadores — São 2 vasos cilíndricos, em alumínio, com a capacidade total unitária de 2.000 litros, a altura de 1,4 m, e o diâmetro de 1,4 m. Têm circulação interior de água, a qual permite manter a temperatura de 80-82° C. São providos de agitadores com eixo de aço inoxidável e pá vertical de forma quadrada (70 cm × 70 cm). O ponto mais deficiente de estanquicidade destes pré-polimerizadores é a vedação do eixo do agitador. Uma corrente de azoto é introduzida contìnuamente na respectiva caixa de vedação. Este gás inerte permite ainda que a polimerização se efectue em atmosfera neutra, e além disso arrasta consigo as fracções voláteis coustituídas por moléculas monoméricas e polímeros de peso molecular muito baixo. O stireno passa através dum debitómetro e é adicionado contìnuamente nos 2 pré-polimerizadores.

Torre de polimerização — Esta torre é revestida interiormente com aço inoxidável do tipo V2A. Tem um diâmetro de 70 cm e uma altura total de 5,8 m, e é constituída por 6 secções, aproximadamente iguais. A secção superior é aquecida, apenas, por uma camisa exterior; as 4 secções inferiores, são aquecidas por vapor e por serpentina interior; finalmente, a última secção termina em forma cónica, e dispõe duma serpentina interior e de aquecimento exterior, por meio de resistências eléctricas.

A serpentina e as camisas exteriores podem ser alimentadas com água ou com vapor, e em cada secção a camisa exterior e a serpentina interior estão ligadas em série.

A torre de polimerização foi dividida em 6 secções, para maior simplicidade de construção e também para facilitar reparações, e em especial, as que interessam as serpentinas interiores.

O emprego de serpentinas interiores de aquecimento-arrefecimento foi imposto pela fraca condutibilidade calorífica do material a polimerizar, além de que é indispensável existir uniformidade tão perfeita, quanto possível de temperatura a cada cota.

A última secção da torre descarrega sobre um dispositivo de extrusão que fornece 2 tiras de polistireno de cerca de $3 \times 0{,}5$ cm, que são posteriormente granuladas.

As fracções voláteis, que se libertam na secção superior da torre de polimerização, são arrastadas pelo azoto e captadas num condensador.

Condução da operação

Para se pôr a instalação em marcha cada um dos pré-polimerizadores recebe 1.400 kg de stireno, que é aquecido a $80 \pm 2°$ C, até se atingir uma taxa de transformação de 0,33 a 0,35, o que leva cerca de 65 horas.

Nesta altura começa a lançar-se o produto da polimerização, efectuada nos pré-polimerizadores, na torre de polimerização. Regula-se o débito de tal modo que a temperatura no início seja de 100° C, em todas as secções, e que ao fim de 35 horas, toda a carga tenha sido lançada na torre, e esteja atingindo o regime de temperatura variável conforme a secção. A 1.ª e 2.ª secção mantêm-se a 100-110° C, a 3.ª e 4.ª a 150° C, a 5.ª a 180° C e a parte cilíndrica da secção inferior igualmente a 180° C.

A parte terminal da torre e o dispositivo de extrusão devem encontrar-se a 200° C. Iniciado o arranque da instalação, mantém-se o regime de temperaturas, e é lançado nos pré-polimerizadores, cerca de 22 kg de stireno por unidade e hora.

A temperatura mantém-se nestes tanques entre $80 \pm 2°$ C, por meio de água quente, introduzida a 74-78° C. O volume constante de carga líquida em cada unidade é de cerca de 1.400 litros.

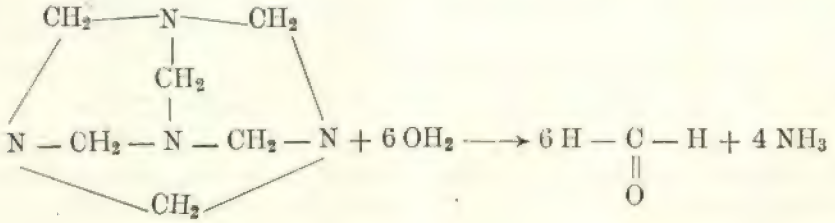
3 — Polimerização na obtenção do pó de moldação

Na obtenção de certas resinas observam-se polimerizações, durante as operações de moagem e mistura que conduzem à obtenção da composição para a moldação.

Vejamos, por exemplo, o que se passa com certas resinas fenólicas, à base de fenol e de formol.

Na autoclave de polimerização obtém-se uma resina (trabalhou-se com excesso de fenol), de baixo peso molecular e fusível. Esta resina apresenta-se, portanto, como se tratasse dum material termo-plástico. Para lhe aumentar o peso molecular, conferindo maior resistência à temperatura, e propriedades termo-reactivas, há a necessidade de eliminar o excesso de fenol, e de tornar mais compridas as cadeias de polímeros. Este objectivo consegue-se juntando à mistura hexametilenate tramina, em proporções que chegam a atingir 12 e 13 % do peso da resina sintética. A adição efectua-se em misturadores cilíndricos, mas a homogeneização completa e a reacção só se consegue, posteriormente, em cilindros de rolos horizontais aquecidos (laminadores-polimerizadores).

Provàvelmente, em presença de pequena quantidade de humidade, algumas moléculas de hexametilenatetramina, decompõem-se segundo o esquema:



O formol libertado condensa-se com grupos fenólicos. A água que se liberta nestas reacções, vai por seu turno, acelerar a decomposição da hexametilenatetramina, fornecendo mais moléculas de formol.

4 — Polimerização durante a moldação

a) *Processos de moldação*

Existem 4 processos fundamentais de moldação:

a) por compressão

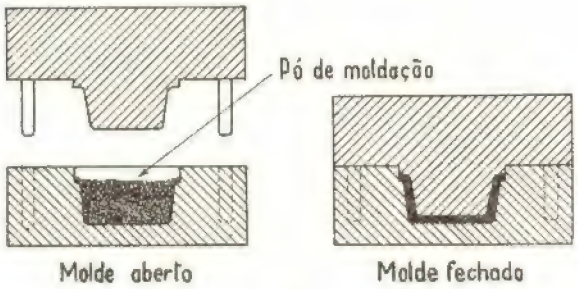
b) por injecção

c) por transferência

d) por extrusão

I) **Moldação por compressão**

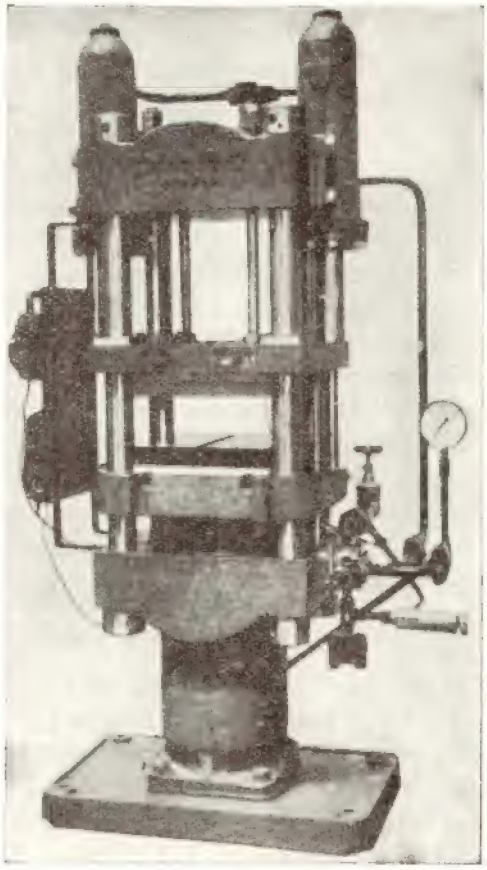
Nesta tecnica o pó de moldação é introduzido no molde, geralmente, sob a forma de pastilhas, fornecidas pela máquina calibradora, e é sujeito, durante um tempo de cura variável, a pressões elevadas (da ordem das 150-250 atmosferas) e a temperaturas médias (da ordem dos 100-180°C).



Moldação por compressão

Aplica-se para os materiais termo-reactivos, visto que os materiais termo-plásticos são moldados com muito melhor resultado e num espaço de tempo muito mais reduzido nas máquinas de injecção.

Usa-se em geral excesso de pó de moldação, que fica, no fim, sob a forma de barbelas delgadas, o qne permite uma moldação mais bem vincada.

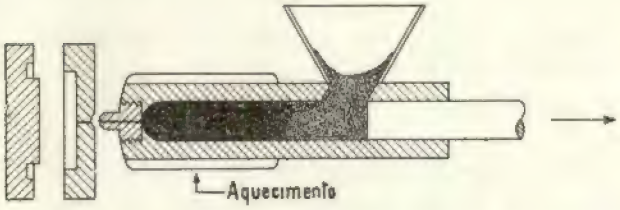


Prensa de moldação por compressão

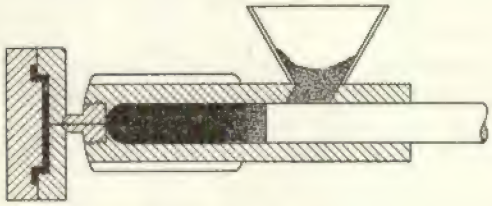
II — **Moldação por injecção**

É o processo mais empregado para os materiais termo-plásticos. Certos termoplastas (por exemplo, o polistireno), só são moldados por injecção. Não é aplicável às resinas termo-reactivas. Permite uma muito maior velocidade de moldação do que o processo de compressão (cerca de 8 a 10 vezes superior). O material é lançado quente sobre pressão num molde relativamente frio. Obtém-se em geral a moldação simultânea de várias peças ligadas entre si por cordões a um núcleo central. As peças simultâneamente moldadas, separam-se com facilidade do núcleo e dos cordões.

Hoje já se consegue, em regime experimental, moldar substâncias termo-reactivas, recorrendo ao emprego de plastificantes adequados.

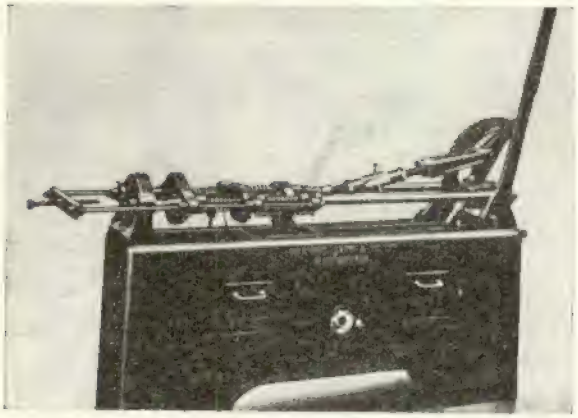


a) MOLDE ABERTO



b) MOLDE FECHADO

Moldação por injecção

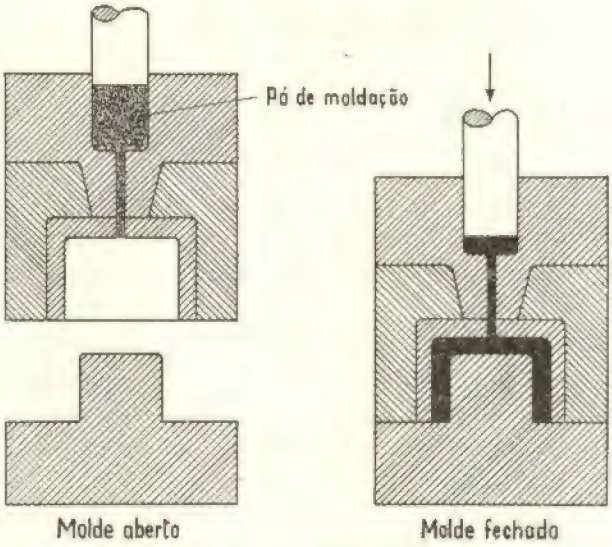


Prensa manual de moldação por injecção

Prensa automática de moldação por injecção

III — Moldação por transferência

Neste método, uma determinada quantidade de pó de moldação (em geral, uma pastilha de pequeno formato) é comprimida numa câmara, donde é injectada, por acção da pressão e do calor, para canais que conduzem a pequenas cavidades. As peças a obter correspondem a essas pequenas cavidades.



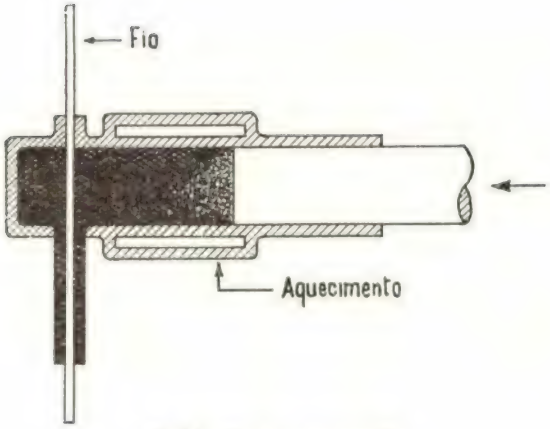
Moldação por transferência

Utiliza-se com resinas termo-reactivas e representa uma transição entre os processos de compressão e de injecção. Emprega-se para a moldação simultânea de peças muito pequenas feitas com resina termo-reactiva.

IV) Moldação por extrusão

Utiliza-se só para material termo-plástico. A carga de moldação é comprimida, contìnuamente, a quente por um orifício com uma determinada secção. Fabricam-se assim tubos cheios ou ocos, e perfilados prismáticos ou cilíndricos.

Esta técnica é também empregada, por exemplo, no revestimento de condutores eléctricos, por vernizes isolantes à base de resinas termo-plásticas.



Moldação por extrusão

b) *Molde*

O preço e perfeição do molde não só vai influenciar fortemente o preço do plástico acabado como também a sua aceitação comercial.

O molde para qualquer dos processos de moldação (compressão, injecção, transferência...) exige um acabamento muito perfeito e características que permitam aguentar as condições de temperatura e de pressão elevada que vai suportar. A tolerância nas dimensões é muito apertada. Os moldes são feitos em aço de composição variável, consoante o processo e peça a fabricar; depois do trabalho nas máquinas-ferramentas são submetidos a cuidadoso tratamento térmico, a fim de alcançarem uma dureza conveniente. Vejamos e apenas com o intuito de dar uma leve ideia da diversidade de aços empregados, a composição e características mecânicas de alguns moldes:

A)

C 0,10 %
Mn 0,50 %
Cr 0,50 %
Ni 1,25 %

dureza Brinell 120
dureza Rockwell C 63
(após tratamento)
limite de elasticidade 1.200 kg/cm²
(após tratamento)

B)

C 0,10 %
Mn 0,40 %
Cr 1,50 %
Ni 3,50 %
dureza Brinell 180
limite de elasticidade
(após tratamento) 2.000 kg/cm²

C)

C 0,90 %
Mn 1,60 %
Si 0,25 %
dureza Rockwell C 63
(após tratamento)

Os aços A têm aplicações muito gerais; os aços B são empregados em moldes de grandes dimensões, sujeitos a esforços violentos; aços do tipo C são utilizados em moldes em que se pretende um acabamento muito perfeito.

Vejamos um caso típico que mostra como o preço do molde é decisivo na comercialização do plástico. Suponhamos que para fabricar um determinado objecto em matéria plástica se necessita dum molde que importa em 20.000$, e que a peça acabada deverá ter um preço de custo de cerca de 10$00, para poder ser lançada com sucesso no mercado.

Se fossem fabricados apenas 100 objectos, o molde pesaria em cada um deles em:

$$\frac{20.000\$}{100} = 200\$$$

Se a produção fosse de 1.000 unidades:

$$\frac{20.000\$}{1.000} = 20\$$$

Mesmo para 2.000 unidades:

$$\frac{20.000\$}{2.000} = 10\$$$

O volume da produção não permitiria que o custo por peça fosse de 10$, visto que à amortização do molde haveria que somar as seguintes parcelas:

a) preço do pó de moldação
b) preço da operação de moldação
c) preço das operações de acabamento e escolha
d) gastos gerais

Por este simples exemplo numérico, que não se afasta de muitos casos reais, se vê como é decisivo o valor do custo do molde na peça fabricada e ainda que só produções em grande escala podem amortizar os moldes.

Normalmente o molde dos processos de injecção é mais caro do que o dos processos de compressão, visto que exige maior perfeição no acabamento, por aguentar pressões e esforços mecânicos mais violentos. A perfeição do molde vai também influenciar nìtidamenle a aceitação do produto, pois quanto mais bem acabado for aquele, melhor será a apresentação da peça fabricada; a perfeição do molde vai ainda diminuir as verbas com operações de acabamento (rebarbagem, eliminação de barbelas...) e escolha. Estas operações podem em certas instalações de moldação por compressão, e para determinados volumes de produção chegar a atingir 2/3 do custo da peça, e ocupar uma área grande; na moldação por injecção, em certas condições, o acabamento e escolha pode chegar a alcançar 20 e 30 % do preço da peça, mas ocupa quase sempre uma área diminuta. Quando os moldes atingem, na moldação por compressão uma perfeição notável, pode nem haver necessidade de acabamentos e efectuar-se apenas a escolha. Pelo contrário, na injecção o acabamento é sempre necessário, ainda que muito sumário, para separar as diferentes peças moldadas simultâneamente.

Podem ainda considerar-se como acabamento e montagem, a série de operações a que são submetidos alguns artigos (por exemplo, de material eléctrico), como seja a colocação de peças metálicas (molas, parafusos...) e a reunião de várias partes moldadas. Estas operações, mesmo quando se trabalha com moldes muito perfeitos, vão pesar fortemente no preço da peça pronta, pela larga soma de mão de obra e de amortização de máquinas que representam.

A influência decisiva que o preço e qualidade do molde exercem, obriga grande número, senão a maioria, das instalações de moldação, a projectarem e a fabricarem os seus próprios moldes. O projecto e fabrico destes moldes é um problema delicado. Assim, muitas vezes, é difícil prever se é do lado do punção ou da matriz, que a peça, quando se abre o molde, na moldação por compressão, fica agarrada e portanto onde se devem colocar os extractores. Uma previsão mal sucedida pode significar a inutilização de algumas centenas de hora de máquina-ferramenta. Sob outro aspecto, ainda, o projecto e fabrico do molde, exigem um conhecimento muito perfeito da peça a fabricar, do comportamento do pó de moldação e o recurso a uma mão de obra muito especializada e bem treinada, dispondo de boas máquinas-ferramentas.

(Continua)

DO ENGENHEIRO E SUA DEFINIÇÃO

C. D. 331:62:34

Do Sr. Eng.º Pedro Celestino da Costa, recebemos a carta que a seguir publicamos:

Ex.mo Senhor Director da Revista «Técnica»

Embora com o risco de não me ser perdoada a insistência, eu vinha pedir o espaço suficiente para um esclarecimento ao meu artigo sobre a definição do engenheiro, já que a dificiência da sua literatura ou a má compreensão da mesma, a tanto aconselham.

A definição que propus é, como não podia deixar de ser, a definição do engenheiro-genérico, chamemos-lhe assim, isto é, relativo «a um conjunto de indivíduos que tem os mesmos caracteres essenciais». Como não podia deixar de ser, ao pretender estabelecer uma definição procurei atingir «o carácter comum» que distingue o engenheiro de outro qualquer modo de actuação humana. Creio que entre os mais dispares objectivos que visam as grandes especialidades da Engenharia se conseguiu definir esse carácter comum. Creio, ainda, que a definição parece ter tanta propriedade que ela abrange não só formas futuras da actuação do engenheiro como distingue aquelas formas imperfeitas de engenheiro que, nas eras empíricas, o antecederam. E a distinção faz-se, também, em relação às formas imperfeitas actuais.

Se sairmos do campo dos princípios para o da prática, de certo que havemos de encontrar, cotidianamente, modos de actuação do engenheiro que não são mais que simples aproximações daquilo a que podemos designar como o engenheiro-genérico. É forçoso que assim seja por o nível da técnica ser actualmente tão elevado já, que só com o recurso a sérias especializações (que se hão-de desejar cada vez mais sérias e cada vez mais especializadas) pode a Engenharia atingir todo o seu poder de eficiência, economia e realização.

Toda a gente sabe, porém, que as grandes vantagens da especialização não são isentas de defeitos correspondentes. Ao pôr de lado algumas das preocupações que constituem todo o seu verdadeiro e intrínseco modo de actuar — o engenheiro adquire um maior grau de saber e eficiência mas, simultâneamente, como que se mutila a si próprio. O Presidente do Instituto dos Engenheiros Sanitários ingleses para o ano de 1948 dizia, com grande poder caricatural, que o engenheiro geral estuda cada vez menos cada vez mais assuntos e acaba por saber nada de tudo, ao passo que o engenheiro especializado estuda cada vez mais cada vez menos assuntos e acaba por saber tudo de nada.

Ora, ao que tudo leva a crer, a única forma eficaz de se poderem colher os benefícios da especialização é a de cultivar simultâneamente o que há de intrínseco e genérico no modo de actuação do engenheiro. Por outras palavras: a necessária e indispensável especialização técnica exige, simultâneamente, o cultivo da Engenharia no seu espírito, no seu método, nos seus problemas e na fecundidade da sua actuação.

O engenheiro que se especializar na investigação laboratorial, por exemplo, se só isso fizer pode chegar a resultados excelentes, mas eles só serão efectivos se vierem a contribuir e se se integrarem dentro dos problemas que o Engenheiro tem que resolver ou das obras que tem de executar. Toda a gente acorda fàcilmente em que a explicação do elevado nível técnico (e consequentemente elevado nível de vida) de certos países é resultado da alta especialização atingida. Mas raras pessoas conhecem a orgânica profissional desses paises: o grau profissional conforme o curso e as provas depois dadas, as constantes reuniões e comunicações e discussão das mesmas, um treino efectivo de coordenação de esforços, etc.

Ora sucede que quanto mais baixo é o nível técnico em que se actua, tanto mais fácil abarcar o conjunto dos aspectos de uma mesma obra ou conjunto de obras. Podemos compreender, assim, a razão porque mais ainda que o agente técnico ou o arquitecto, tem hoje o construtor civil o treino e a relativa capacidade de abarcar a obra, no seu conjunto. O construtor civil pode considerar-se como a forma profissional que mais directamente descende dos construtores medievais. Igualmente o arquitecto será o melhor representante actual dos construtores (?) da Renascença; e o agente técnico é a forma que mais acentuadamente se mantém com as características dos técnicos do alvor da era industrial, em que a Engenharia era menos uma disciplina ciente e consciente, que mero agente do lucro.

Todas estas três formas profissionais contêm virtudes que se não dispensarão, mas estão hoje, na realidade, definitivamente ultrapassadas. Num país como o nosso em que a maioria das obras utilitárias (como as casas de habitação de oito milhões de habitantes) estão ainda e têm estado ao nível do amador — elas terão, e de certo por muito tempo, um papel útil a desempenhar. O que é de todo inaceitável, porém, é que se procure metòdicamente baixar o nível da técnica até ao limite do alcance de qualquer uma dessas três modalidades.

O problema das profissões afins do engenheiro é, assim, essencialmente, e ao que bem parece, o problema do nível técnico que se tem *e que se deseja*. Em particular no que se refere ao agente técnico, e para responder às claras e precisas opiniões do Sr. Manuel Lopes Peixoto, limito-me a notar que agente técnico de engenharia será aquele que se submete aos métodos da engenharia, e portanto ao saber e competência do engenheiro, e, se assim não for, a confusão com outros quaisquer agentes técnicos torna-se lógica e consequente. Tudo isto, bem entendido — salvo erro ou omissão.

Sem outro assunto e com toda a consideração, subscrevo-me

De V. Ex.ª
Mto. Atenciosamente
Pedro Celestino da Costa

VIDA ESCOLAR E ASSOCIATIVA

Conclusões de um inquérito sobre tirocínios

C. D. 378.12

No ano lectivo 1946-47, a Secção Pedagógica da Associação dos Estudantes do I. S. T. realizou um inquérito sobre tirocínios. Em virtude de circunstâncias várias só agora se publica o seu resultado. Deve notar-se que este atraso, ainda que lamentável, em nada prejudica o valor das conclusões alcançadas, porque o conhecimento, que temos, das condições actuais em que se põe o problema indica-nos que as modificações verificadas foram no sentido de reforçar essas conclusões.

O número de respostas recebidas foi relativamente reduzido, mas constata-se, pela qualidade da maioria delas, que os seus autores tinham plena consciência da importância do problema.

É esta reconhecida importância que nos leva a trazer à «Técnica» as conclusões do inquérito e esperamos que elas tenham o acolhimento devido por todos que têm interesse em que a formação dos engenheiros portugueses seja eficiente.

O inquérito, dirigido aos alunos dos dois últimos anos, consistia de 7 questões, cujas respostas vamos analisar destacando a conclusão que delas se pode deduzir e apresentando algumas sugestões concretas no sentido de permitir realizar os tirocínios em melhores condições. Sempre que, numa sugestão, a Secção Pedagógica toma para si qualquer responsabilidade deve entender-se que o seu cumprimento será efectivo na medida em que os colegas colaborarem com a Secção.

I — Critério adoptado na escolha do local do tirocínio

Conclui-se que o critério seguido é o de preferir um local onde haja possibilidades de aprender e trabalhar, com a necessária assistência técnica. Quando o inquérito foi realizado, havia na secretaria do Instituto uma lista dos locais onde era possível tirocinar, mas quase todas as respostas revelam que, além de desactualizada, não continha informações sobre as empresas e, portanto, era pouco útil. Em face da falta de elementos que permitam uma escolha criteriosa cai-se no uso de informações e conhecimentos particulares, o que não satisfaz.

Um outro factor decisivo é o da facilidade de instalações pois o aluno procura a solução que menos o onera.

Apresentam-se sugestões para se arquivarem, na Biblioteca do Instituto ou na Associação, fichas com a indicação das várias empresas e das suas características, permitindo, assim, ao tirocinante, escolher o local consoante o trabalho que mais lhe interesse. Segundo outros, os professores que formam a Comissão Pedagógica de cada curso deveriam dar aos alunos as informações necessárias sobre os locais de tirocínio e o tipo de trabalho lá desenvolvido.

A Secção Pedagógica, ainda que pense que deveria ser o Instituto a coligir e pôr à disposição dos alunos os elementos necessários para uma boa escolha, está empreendendo a organização dum ficheiro que existirá na secção para consulta dos estudantes do I. S. T.

Sobre a facilidade de instalações que permitiria realizar tirocínios de grande interesse em locais afastados da residência habitual, parece-nos que seria uma boa medida o estabelecimento de bolsas para este fim, ainda que o aluno assumisse certos compromissos de trabalho a efectuar. Esta mesma solução poderia ser aplicada a tirocínios a realizar nas Colónias, tanto no que diz respeito às instalações como às viajens.

II — O que se exige do tirocinante

A quase totalidade das respostas indica-nos que os tirocinantes não têm ideias precisas sobre a natureza do seu trabalho e as suas obrigações. Isto resulta de que no Instituto não se dão esclarecimentos sobre estes pontos e os alunos servem-se, apenas, de informações que conseguem obter particularmente e das suas opiniões sobre o que deverá ser o tirocínio. Deste estado de coisas resulta que, normalmente, o trabalho é prejudicado por falta de orientação, quer porque esta não existe desde o início quer porque as concepções pessoais não são confirmadas.

Torna-se, pois, necessário que a Escola dê uma orientação sobre o trabalho a realizar e neste sentido seria conveniente que, ao terminar o ano lectivo, os professores das cadeiras das especialidades focassem este problema e dessem algumas indicações orientadoras.

Com o mesmo fim é apresentada uma sugestão para que a realização do tirocínio seja acompanhada pelos professores. Deverá ser objecto de estudo a possibilidade de pôr em prática esta sugestão.

III — Assistência técnica aos tirocinantes

Quanto à assistência técnica que fornecem aos tirocinantes, as empresas podem classificar-se em três categorias :

a) aquelas em que a assistência é prestada por engenheiros

b) aquelas em que a assistência é prestada por agentes técnicos de engenharia ou por mestres.

c) aquelas em que não é prestada assistência técnica.

A proporção destas últimas é infelizmente apreciável e a sua redução exige uma melhor colaboração entre a Escola e a Indústria.

Esta questão, que está intimamente ligada com a da orientação, condiciona no fundamental todo o problema da eficácia dos tirocínios, pois, quando não há assistência técnica, o ambiente que rodeia o tirocinante dá origem à desorientação e ao desinteresse, tornando quase nula a utilidade do estágio.

Procurando evitar que os tirocínios sejam realizados em locais onde não se preste assistência técnica, dever-se-á indicar no ficheiro já mencionado a característica da empresa sob este aspecto.

Acentuamos, porém, que a solução desta questão só será efectiva com um progressivo melhoramento na colaboração entre a Escola e a Indústria.

IV — Preparação fornecida pela Escola ao tirocinante

Dum modo geral a conclusão é esta, que extraimos duma resposta :

«Os conhecimentos adquiridos na Escola foram úteis, não no que diz respeito a uma aplicação imediata, mas naquilo a que chamarei em potencial».

Assim, a base teórica é considerada suficiente e permite estudar os assuntos novos que em muitos casos surgem, mas, verifica-se que, na Escola, nem sempre se acentua a importância prática de certos assuntos que são apresentados com um aspecto puramente teórico e que é insuficiente a prática de aplicação dos conhecimentos teóricos.

Os alunos dos cursos de Electrotecnia e de Mecânica sentem a falta da parte prática da cadeira de Tecnologia Mecânica e, em especial, de conhecimentos sobre máquinas-ferramentas.

V — Natureza dos relatórios

Sobre este ponto as respostas são variadas, notando uns que em 20 dias e com os conhecimentos que têm não se pode realizar algo que dê um cunho construtivo ao relatório e, portanto, limitar-se-ão a descrever o que observaram; para outros é a parte construtiva a que tem mais importância, reduzindo ao mínimo as descrições já muitas vezes feitas. Entre estes dois pontos de vista, há outros intermédios em que se equilibram os dois aspectos mencionados.

Pode dizer-se que esta questão revela o que o aluno pensa sobre o que deve ser o tirocínio e a variedade das respostas é, em grande parte, produto das circunstâncias diferentes que cada um encontrou. Não

tendo o tirocinante uma orientação definida, dada pela Escola, a sua actuação dependerá principalmente do trabalho que se realiza no local do estágio e da assistência que encontra. Por exemplo: um colega diz que o engenheiro da fábrica, onde tirocinou, apresentou-lhe um problema que gostava de ver resolvido e por consequência o seu trabalho foi tal que o relatório terá um aspecto essencialmente construtivo. Quando as condições de trabalho e assistência são tais que o tirocinante se limita a observar, é inevitável que o relatório será apenas descritivo.

Se houver orientação e elementos de escolha, o tirocinante poderá conseguir as condições necessárias para alcançar o fim desejado.

Parece-nos que não se deve pôr em termos exclusivos a questão de saber se o que interess aé observar ou realizar, mas sim dosear as duas funções de modo a dar maior relevo no primeiro tirocínio à observação e no último à realização.

Quando nos referimos à observação entendemos que esta deve ser uma aquisição de conhecimentos relativos a métodos de cálculo, elaboração de projectos, instalações, processos construtivos, organização de trabalho, etc.

VI — Duração do tirocinio

As respostas a esta questão têm um carácter relativo, porque 20 dias é considerado pouco para realizar trabalho de interesse, mas será mais do que suficiente quando as circunstâncias não permitem trabalhar e dão origem ao desinteresse.

Parece, pois, que a questão de saber qual a duração mais conveniente só se deverá pôr quando estiver bem definida a orientação do tirocínio e quando se realizarem as condições que permitam pô-la em prática. Então, é possível que seja conveniente alargar o tempo dedicado ao tirocínio.

VII — Cumpre o tirocinio, actualmente, a sua função?

Ao pôr esta pergunta, o inquérito deixava ao critério de cada um o que se entende por função do tirocínio, mas é evidente que, em geral, considera-se que essa função é a de: pôr o estudante em face dos problemas que, provàvelmente, surgirão na sua futura vida profissional e, assim, dar-lhe a oportunidade de adquirir valiosos ensinamentos que a Escola directamente não pode dar.

É opinião geral que, nas actuais condições, esta missão só parcialmente é cumprida. Algumas razões disto já foram apontadas, todavia, ao terminar, queremos insistir neste ponto: a Escola tem dedicado insuficiente atenção ao problem e os alunos, na generalidade, não apreciam com justo valor o que poderiam receber dos tirocínios.

Que este trabalho venha despertar o interesse de todos, é o nosso voto.

A Secção Pedagógica

BIBLIOTECA

PUBLICAÇÕES

Pedimos a todos os sócios da Associação, que possuem, requisitados, livros da nossa Biblioteca, o favor de os entregar o mais ràpidamente possível.

Lembramos aos sócios que entrou em vigor um regulamento para a Biblioteca.

C. D. 526.9

Advanced Surveying

Por JAMESON, ALEX, H.
Editor Pitman & Sons, Ltd. — London
1948 — Vol. I — Págs. 388

Os estudantes que se queiram preparar convenientemente para o exame de Topografia, encontrarão neste livro um precioso auxiliar pois, foi propositadamente escrito para esse fim. Não é um tratado, mas sim um compêndio, com cálculos e noções claras dos modernos métodos de topografia.

C. D. 526.918

Air Photography

Por HART, C. A.
Editor Longmans, Green and C.º — London
1948 — Vol. 1 — Págs. 366

Major Hart, o autor deste livro, é um especialista no assunto com uma larga experiência em trabalhos de topografia; o seu livro preenche a lacuna existente entre livros para especialistas, e os de divulgação.

À história da Fotogrametria segue-se a descriminação das suas aplicações mais correntes, descrição dos princípios de topografia aérea e sua interpretação, prespectiva, estereoscopia, etc.

C. D. 31:38/387

Estatística do Comércio Externo e da Navegação

ANO DE 1948
Repartição Técnica de Estatística Geral — Angola
1949 — Págs. 625

— Movimento Comercial.
— Quadros Resumos.
— Importação, Exportação, Trânsitos e regimes especiais.
— Navegação.
— Índices.

C. D. 54

Curso General de Química

Por PUIG, IGNÁCIO
Editor Manuel Marín — Barcelona
1950 — Págs. 900
8.ª edição, com 365 figuras
Preço: 75 pesetas

C. D. 546.13:541.123

Equilibrium Studies on N-Chloro Compounds. II. The Base strength of N-Chloro Dialkylamines and of Monochloramine

Por IRA WEIL e J. CARREL MORRIS
Editor Harvard University
1948-49 — Págs. 3023/3026

C. D. 551:669

Geologia dos minérios de ferro portugueses — Seu interesse para a siderurgia

Por J. M. COTELO NEIVA
Museu Mineralógico da Universidade de Coimbra
1949 — Vol. 26 — Págs. 60
Existem 2 exemplares

C. D. 551.4

Essai sur Quelques Problèmes de Morphologie Générale

Por PIERRE BIROT
Instituto para Alta Cultura
1949 — Págs. 176

Chap. I — Les lois de l'érosion fluviale.
Chap. II — Évolution des versants.
Chap. III — Influence du climat sur l'évolution des versants.
Chap. IV — Relief calcaire, relief granitique et relief schisteux.
Chap. V — Les problèmes de l'analyse cyclique.
Chap. VI — Le témoignage des discordances et des dépôts corrélatifs.

C. D. 621.13

Intercepción de Chispas en Locomotoras a combustibles sólidos

Por ANACLETO TOBAR
Universidad Nacional de Tucuman
1949 — Págs. 84

Técnica del Tiro Forzado. Aplicación para el caso de Combustibles Líquidos.

C. D. 624.131.4

Injecções nos Terrenos

Por BAPTISTA JÚNIOR, JOSÉ RAFAEL
Revista da Ordem dos Engenheiros
Págs. 66

C. D. 625.1/6

Der Eïsenbahnoberbau im Deutschen Reich

Por SALLER, HEINRICH
1928 — Págs. 324

C. D. 625.1/6

Chemins de Fer Superstructure

Por DEHARME, E.
Editor Librairie Polytechique Ch. Bèranger
1890 — Págs. 695

C. D. 625.1

Princípios Technicos do Assentamento da Via nas Curvas dos Caminhos de Ferro

Por PEREIRA DOS SANTOS, JOSÉ GONÇALVES
1888 — Págs. 80

C. D. 625.11

Tracé des Chemins de Fer (Routes, canaux, tramways, etc.)

Por BAUDSON
Editor Librairie Polytechique J. Baudry
Págs. 253

C. D. 628.34

System of Bio-Precipitation of Organic Matter from Sewage

Por DANIEL A. OKUN
Editor Harvard University
1948-49 — Págs. 763/794

C. D. 62/69

Mémoires de la Societé des Ingénieurs Civils de France

Fascículo IV
Société des Ingénieurs Civils de France
12-948 — Págs. 597/928

Mines et Metallurgie
Applications de la Physique.
Industries Electriques.
Mecanique.

C. D. 62/69

Teses apresentadas no 2.° Congresso Nacional de Engenharia

1948

C. D. 351.713

Teoria Sociométrica da Repartição do Imposto

Por VASCO NUNES PEREIRA FORTUNA
Instituto para Alta Cultura
1949 — Págs. 220

Prefácio.
I Parte — Posição actual do Problema da Repartição de Imposto.
II Parte — Dedução da Teoria Sociométrica.
III Parte — Estudo de um imposto à luz da Teoria Sociométrica.
Resumo das Conclusões.

C. D. 634.3

Acerca da cultura e sanidade da laranjeira em Moçambique

Por DR. A. J. F. CASTEL-BRANCO
JUNTA DE INVESTIGAÇÃO COLONIAIS
1949 — Págs. 17

C. D. 11 + 12:576

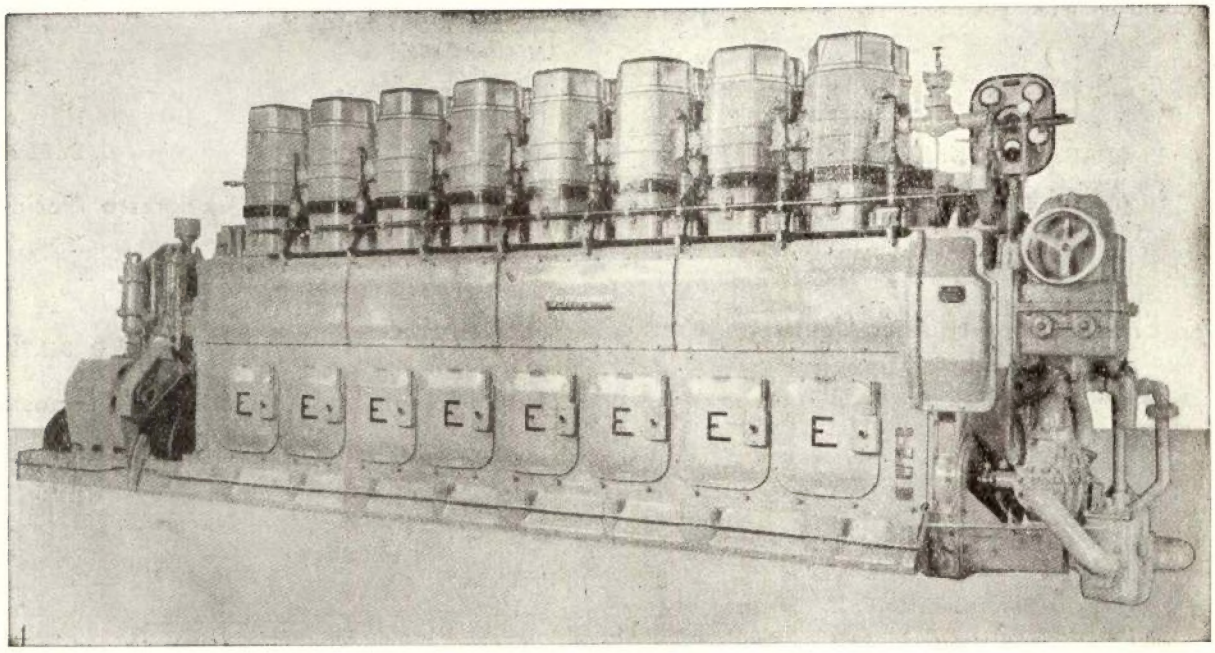
The Unitary Principle in Physics and Biology

Por LANCELOT LAW WHITE
The Cresset Press
1949 — Págs. 182

Preface.
Chapter I — The unitary Principle.
Chapter II — Unitary Concepts.
Chapter III — The Physical Basis of Life.
Chapter IV — Theory of Organism.

ENTERPRISE

ENGINE & FOUNDRY COMPANY — U. S. A.



MOTORES DIESEL MARÍTIMOS — MOTORES DIESEL ESTACIONÁRIOS

GRUPOS DIESEL-GERADOR

45 a 2100 HP — **200 a 850 RPM** — **3 a 8 cilindros**

- Bloco de cilindros fundido numa só peça.
- Base fundida numa só peça.
- Camisas em contacto directo com a água.
- Cabeças de cilindro individuais.
- Cambota em aço forjado.
- Tirantes em aço forjado, Tipo marítimo.
- Bombas de injecção individuais.
- Válvulas em aço « SILICHROME »
- Lubrificação forçada.
- Balanceiros com sistema hidráulico para eleminação de folga.
- Válvula de arranque em todos os cilindros.
- Com ou sem sobre-alimentação.

CONSTRUÇÃO ROBUSTA — SERVIÇO CONTÍNUO — ECONOMIA

REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

AVENIDA ALMIRANTE REIS, 247, 1.º — **LISBOA**

C. D. 771

Contax Guide

Por W. D. EMANUEL
Editor The Focal Press
Págs. 112

C. D. 771

Retina Guide

Por W. D. EMANUEL
The Focal Press
Págs. 64

REVISTAS

		C. D.
Actividade económica de Angola, n.os 22-23	Angola	31:38
Aeroplane (The), n.os 2014 a 2018	Inglaterra	629.13
Air France revue, 1949	França	796.51
Aircraft Engineering, n.º 251	Inglaterra	629.13
Anais do Club Militar Naval, n.os 7, 8 e 9 1949	Portugal	623
Anais da Junta de Investigação Coloniais, tomos II a IV, 1947-48	Portugal	
Arcos, n.º 115	Bélgica	621.791.052
Arquitecto Constructor (El), n.º 692	Argentina	72
Arquitectura Portuguesa, n.º 157	Portugal	72
Avion, n.os 36 e 43	Espanha	629.13
Boletim da C. P., n.º 247	Portugal	656.2
Boletim da Junta de Exportação, n.º 2, 1949	Angola	382.6 (673)
Boletim Mensal de Estatística, n.os 7, a 10, 1949	Angola	31
Boletim Mensal de Informação do Laboratório de Engenharia Civil, n.º 9	Portugal	025.45:016:62+66/69
Bolletino di Documentazione Tecnica, n.º 10/933-986	Itália	016:62+66/69(45)
Brotéria, Fasc. 1 e 2	Portugal	1/3+7/8
Bulletin du Congrés des Chemins de Fer, n.º 1, 1950	Bélgica	385
Cemento y Hormigón, n.º 190	Espanha	666.9
Centro, n.º 14	Portugal	
Chronique des Mines Coloniales (La), n.º 163	França	622
Ciencia y Tecnica, n.º 571	Argentina	62+66/69
Compressed Air Magazine, n.º 1, 1950	E. U. A.	621.5
Dyna, n.os 11 e 12	Espanha	62+66/69
Engineering, n.os 4381 a 4385	Inglaterra	62+66/69
Estudos (C. A. D. C.) Dez., n.º 282, 1949, Jan. n.º 283, 1950	Portugal	1/2+8
Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro, vol. IV, fasc. 3-4	Portugal	622
Excavating Engineer, n.º 1, 1-950	E. U. A.	624.13
Ferrocarriles y Tranvias, n.º 170	Espanha	385
France Illustration, n.º 194	França	796.51
Gazeta dos Caminhos de Ferro, n.os 1490 e 1492	Portugal	385
Indice Cultural Español, n.º 47	Espanha	016:1/9(46)
Indústria e Tecnica, n.º 26	Portugal	62+66/69
Informaciones Iram, n.º 9	Argentina	389.6
Ingenieria (La), n.º 895	Argentina	62+66/69
Máquinas e Metais, n.º 49	Portugal	621.9+546.3
Mensário das Casas do Povo (S. N. I.), n.º 44	Portugal	(05)(061)
Ossature Metalique, n.º 1, 1-1950	Bélgica	624.014
Radio Nacional (E. N.), 11-2-950	Portugal	
Revista Agronómica, n.os 2 e 3, 1947	Portugal	63
Revista de Artilharia, n.º 295	Portugal	623
Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali, n.º 1, 1949	Itália	526(45)
Revista Electrotécnica, n.º 1, 1950	Argentina	621.39
Revista de Obras Públicas, n.º 2817	Espanha	624/628
Revista da Ordem dos Engenheiros, n.º 72	Portugal	62+66/69
Révue des Roulements à Billes (La), 1 a 4, 1948	Suécia	621 382.7
Revue Brown Boveri, n.os 7-8, 9	Suíça	621 3
Seara Nova, n.os 1148-49 a 1150-51	Portugal	3+7/8
Suissa Tecnica, n.º 3, 1949	Suíça	62+66/69
Via Latina, 7-2-950	Portugal	1/3+7/8
Vértice, n.º 77	Portugal	

Fábrica Nacional de Condutores Eléctricos, L.da

VENDA NOVA — AMADORA

•

CONDUTORES ELÉCTRICOS

C E L

Fabricados pela indústria nacional segundo as Normas de segurança das instalações de Baixa Tensão

•

CONCESSIONÁRIOS GERAIS:

SODIL — Sociedade Distribuidora, L.da

R. NOVA DA TRINDADE, 15-C

LISBOA